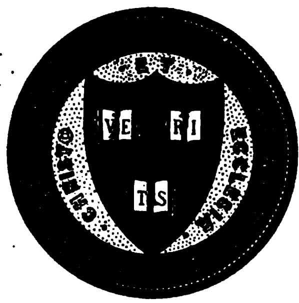

VE
RI
TAS



LES

BATEAUX SOUS-MARINS

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

LES

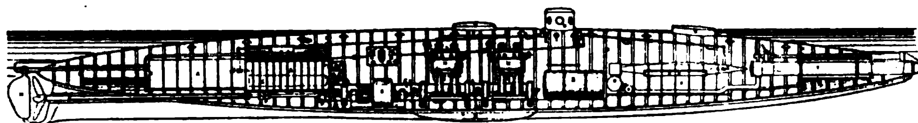
BATEAUX SOUS-MARINS

TECHNOLOGIE

PAR MM.

F. FOREST
Ingénieur-Constructeur,
Lauréat du Ministère de la Marine,
Concours du 18 février 1896 (Torpilleurs Sous-Marins)

H. NOALHAT
Ingénieur civil. Rédacteur et correspondant
de plusieurs revues techniques,
françaises et étrangères



PARIS
Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR
49, Quai des Grands-Augustins, 49

1900

LES BATEAUX SOUS-MARINS

LIVRE II

INTRODUCTION

Nous avons vu dans l'*Historique* auquel est consacré le premier volume de cet ouvrage comment, à travers des tâtonnements sans nombre, après mille et un échecs ou succès partiels où la déception était proche souvent du trop hâtif chant de victoire, le bateau sous-marin est arrivé à une existence vraie.

Encore qu'il demeure, il faut l'avouer, bien des points délicats incomplètement élucidés, bien des insuccès futurs, possibles et même probables, le sous-marin aujourd'hui navigue; — il n'y a pas longtemps.

Il est curieux de se demander pourquoi deux siècles et plus se sont consumés en efforts vains, alors que tout à coup, ou du-moins en fort peu d'années, une solution presque satisfaisante a été obtenue. La réponse est facile, et ce n'est pas seulement dans la perfection moderne des machines et des moyens de construction que nous la trouverons. En réalité, les inventeurs d'autrefois cherchaient au hasard et beaucoup en aveugles, ignorant surtout la question qu'ils ne s'étaient pas nettement posée dès l'abord, et, au premier essai, ils se heurtaient à un imprévu décevant qui les faisait échouer quelquefois sans lutte.

C'est qu'il est complexe, en effet, hérissé à chaque pas de difficultés peu communes et que l'on n'a point coutume de rencontrer dans le cycle ordinaire des investigations scientifiques ou mécaniques, ce problème de la navigation sous-marine! Il était bien d'ailleurs, par son mystère même, fait pour tenter les volontés hardies, pour les décourager aussi parfois par les troublantes inconnues qu'il découvrait tout à coup, cependant qu'on cherchait à dégager les autres.

Et voilà pourquoi il a fallu tant de temps pour poser seulement la question de façon bien précise, — voilà pourquoi aussi, depuis qu'elle est ainsi posée, il a été fait plus de chemin en quelques rapides années qu'on n'en avait d'abord parcouru en deux siècles.

Quel est-il donc ce mystérieux problème aux données si étrangement imprécises et embrouillées? Le voici dans toute son apparente simplicité :

Réaliser un bateau tout spécial d'une forme à déterminer, capable, — tout en portant un équipage nécessaire à sa manœuvre, un armement offensif puissant et commode, qui ne puisse cependant le mettre lui-même en danger, et un moyen de défense efficace et prompt, — de naviguer à la surface de la mer à la façon d'un navire ordinaire, de s'enfoncer à volonté à la profondeur nécessaire et souvent variable, de naviguer ensuite entre deux eaux suivant une direction ou une route horizontale connue ou vers un but choisi sans rien perdre de ses moyens d'action ni de ses garanties de sécurité, de remonter à son gré à la surface et de pouvoir, consécutivement s'il le faut, réitérer ces exercices pendant un certain temps connu à l'avance, sans aide ni appui venu de l'extérieur.

Voyons donc quelles sont les multiples questions que nous aurions à résoudre pour remplir toutes ces conditions.

Réservant pour plus tard la détermination de la forme exté-

rieure possible et favorable pour que le bateau complètement immergé se tienne en équilibre stable dans cette position, y résiste aux pressions que l'eau environnante exerce sur sa paroi évidemment hermétiquement close de toutes parts et y obéisse aux organes moteurs et propulseurs qui lui seront adjoints, nous supposerons connus cette forme et ces appareils de marche, dont l'étude sera faite aux chapitres spéciaux *Forme* et *Force motrice et propulsion.*

Prenons donc ce bateau dans la position initiale où forcément il doit être pour qu'un équipage y puisse pénétrer, c'est-à-dire flottant à la surface de l'eau à la façon d'un navire ordinaire et, après avoir effectué la fermeture hermétique de la paroi, — fermeture qui doit être faite, comme l'opération inverse d'ouverture, par les hommes placés à l'intérieur, — nous devrons déterminer par quels moyens il nous sera possible de faire descendre ce bateau dans l'eau à une profondeur voulue et de l'y maintenir. Il nous faudra en même temps déterminer la limite extrême que pourra atteindre ce bateau, et régler le mouvement rapide et sûr de retour à la surface. Nous aurons donc résolu le problème de l'*Immersion.*

Nous avons maintenant un bateau qui s'immerge et émerge à volonté et que nous supposerons toujours mû par des appareils de propulsions convenables dont l'étude sera faite à part. Nous devons alors faire que cette poussée en avant du bateau sous l'influence de ses propulseurs, dessine une route connue et préalablement choisie, c'est-à-dire que le bateau se dirige dans un sens ou vers un but déterminé. Là sera, disons-le tout de suite, la question la plus ardue et celle qui, aujourd'hui encore, est le plus imparfaitement résolue, nous l'appelerons problème de l'*Orientation.*

Mais il est une question auxiliaire qui se mêlera constamment aux deux précédentes et que nous devons résoudre en

même temps. Sur le bateau immergé, en effet, nous devrons effectuer toutes les manœuvres que comporte sa conduite et son utilisation et déterminer dans ces actions intérieures, comme dans les influences extérieures que peut subir le navire, les éléments susceptibles de troubler ou de rompre son équilibre ou son assiette de quelque manière que ce soit. La nécessité alors se fera sentir d'organes annexes ayant pour fonction d'empêcher ou de rectifier ces ruptures d'équilibre afin que, si elles ne peuvent être complètement évitées, au moins elles soient de peu d'importance et momentanées seulement. Ce sera le problème de la *stabilité*.

Maintenant que nous nous sommes occupés de toutes les conditions spéciales de navigabilité du bateau, il nous faut donner notre attention à son équipage et déterminer les aménagements intérieurs pour que le navire soit habitable, aussi bien que les rapports de ce navire avec l'extérieur, qui devront assurer sa sécurité dans tous les cas possibles. Ces problèmes de l'*habitabilité* et de la *sécurité* sont trop complexes pour être indiqués dans ce préambule autrement que par la mention de leur existence. Notons seulement que c'est en les résolvant que nous devrons nous préoccuper de fournir aux hommes enfermés dans le sous-marin la quantité d'air respirable nécessaire à leur existence normale et que nous rencontrerons là une grosse difficulté.

Nous avons désormais un sous-marin digne de ce nom ; — avec son équipage qui reste dans des conditions qui ne compromettent pas sa vie, il s'immerge et navigue régulièrement suivant la route qu'il a choisie, — il faut maintenant que nous rendions ce bateau utile à quelque chose pour le but qu'on s'est proposé en l'imaginant, c'est-à-dire que nous déterminions, en ne perdant jamais de vue la question de sécurité intérieure, quelle sera l'arme offensive dont il pourra user avec succès. Ce sera le problème de l'*armement*.

Le bateau sous-marin, complet cette fois, il ne nous restera plus qu'à étudier le meilleur moyen de nous en servir, c'est-à-dire de régler pour le mieux son utilisation militaire et la tactique d'attaque et de défense qu'il aura à suivre dans les différents cas où il pourra être engagé.

Voilà certes une tâche peu facile et, si l'on veut bien considérer que chacune des grandes questions essentielles qui sont indiquées ci-dessus entraîne avec elle une multitude de questions de détail qui ont créé tant de difficultés aux inventeurs, on s'expliquera la raison d'être de ce volume, la nécessité d'analyser dans ses plus petits détails, cette question si complexe de la navigation sous-marine, en s'aidant des expériences faites et des résultats obtenus.

Entrons donc tout de suite dans la question et n'ayons point trop grand'hâte d'arriver à la fin, car dans ces délicats problèmes, plus que dans tous les autres, il importe de ne rien laisser au hasard.

TECHNOLOGIE

CHAPITRE I

IMMERSION ET STABILITÉ

Le premier problème évidemment qui se pose quand on envisage un bateau sous-marin est celui de placer ce bateau dans la position pour laquelle il est créé et qui justifiera son nom, c'est-à-dire de le faire venir entre deux eaux ayant au-dessus de lui une couche liquide qui le prive de toute communication avec le monde placé au-dessus de la surface de l'eau.

C'est le problème de l'immersion.

Nous aurons à envisager deux cas possibles, suivant la façon d'être cinématique du navire pendant qu'il flotte encore à la surface, et nous considérerons successivement le cas de l'immersion d'un bateau stoppé ou immersion au repos et celui de l'immersion d'un navire en marche.

L'immersion au repos consiste à faire descendre verticalement le bateau à un niveau déterminé au-dessous de la surface de l'eau, de le maintenir ensuite dans cette position d'une façon immuable pendant un temps déterminé, puis à le faire remonter à la surface suivant la verticale.

On voit immédiatement qu'un bateau sous-marin complètement immergé obéit au principe d'Archimède qui peut s'énoncer ainsi : *Lorsqu'un corps solide est entièrement plongé dans un liquide pesant en équilibre, les pressions qui s'exercent à la surface ont une résultante unique, égale et directement opposée au*

poids du volume liquide déplacé et appliquée au centre de gravité de ce volume.

Cette résultante s'appelle la *poussée* du liquide; et son point d'application prend le nom de *centre de poussée.*

Ce principe peut encore s'énoncer de la manière suivante : *Tout corps plongé dans un liquide pesant en équilibre y subit une poussée verticale de bas en haut, égale au poids du volume liquide déplacé.*

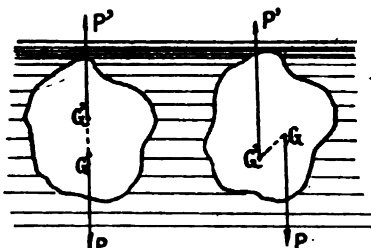


Fig. 1. Fig. 2.

Un corps complètement immergé — dans le cas présent, un bateau sous-marin, — est donc soumis à deux forces verticales et de sens contraires : son poids P, appliqué au centre de gravité G, et la poussée P′ appliquée au centre de gravité G′ du volume V (*fig.* 1), c'est-à-dire au centre de carène.

On en conclut que, pour qu'un pareil corps reste en équilibre dans un liquide, il est nécessaire que son centre de gravité se place sur la verticale de son centre de carène; — de plus l'équilibre ne sera stable qu'autant que le centre de gravité sera *au-dessous* du centre de carène, de façon à ce que le couple PP′ soit un couple de redressement en cas d'écart de la ligne GG′ avec la verticale (*fig.* 2). La distance GG′ devra d'ailleurs être assez grande relativement aux grandeurs des forces P et P′ pour que le couple de redressement créé par ces deux forces, — en dehors d'une résultante verticale ascendante ou descendante si elles sont inégales, — agisse sous un bras de levier suffisant pour que son action soit pratiquement efficace. Le constructeur devra d'ailleurs s'efforcer, pour la stabilité longitudinale du navire, de rendre l'axe moyen du bateau perpendiculaire à la droite GG′, de même que, pour la stabilité d'assiette transversale, il devra faire en sorte que ces deux droites soient dans un même plan, qui définira le plan vertical de symétrie longitudinal du sous-marin.

Nous reviendrons avec quelques détails sur ces questions en traitant des conditions de stabilité et de la forme extérieure.

Revenons au problème de l'immersion.

Trois cas seront à considérer, suivant les valeurs relatives du poids et de la poussée :

1° $P > P'$. — Le corps sollicité par une force verticale descendante

$$f = P - P'$$

tombe vers le fond en suivant les lois de chute des corps pesants, la force constante agissant sur lui étant f.

2° $P = P'$. — Le corps en équilibre indifférent sous l'influence de deux forces égales et opposées demeure théoriquement immobile au sein de la masse liquide.

3° $P < P'$. — Le corps sollicité par une force verticale ascendante

$$f = P' - P$$

remonte vers la surface suivant le mouvement vertical uniformément accéléré que provoque cette force constante f que nous appelons *flottabilité.*

Nous pouvons dire alors que :

si $P > P'$, la flottabilité est ***négative***,
si $P = P'$, la flottabilité est ***nulle***,
si $P < P'$, la flottabilité est ***positive***.

Les conditions 2 et 3, $P = P'$, *flottabilité nulle*, et $P < P'$ *flottabilité positive*, sont les seules que l'on a cherché à réaliser pratiquement dans le problème de l'immersion au repos et en marche.

Ces deux cas emportent avec eux des conditions et des procédés particuliers, ont chacun leurs partisans et leurs adverversaires, comme ils ont leurs avantages et leurs inconvénients ; nous allons en faire une analyse aussi rapide et complète que possible.

Résumons d'abord, comme pour faire une classification, les

procédés généraux employés, les principes appliqués, plutôt dans l'un et l'autre cas.

I. *Flottabilité nulle* P = P'. — 1° Modification graduelle du poids du bateau, que l'on arrive à rendre égal à la poussée par l'introduction d'une quantité convenable d'eau formant lest (Water-ballast) dans des réservoirs spéciaux;

2° Modification du volume extérieur du bateau de façon, tout en laissant le poids constant à rendre la poussée égale à ce poids.

Ces deux procédés s'appliquent indifféremment soit au repos, soit en marche.

II. *Flottabilité positive* P < P'. — 1° Emploi d'hélices tournant autour d'un seul arbre vertical et produisant, par leur travail, une poussée vers le bas, qui vient annuler la poussée ascendante du liquide. Ce procédé n'implique rien quant à la façon d'être du bateau, stoppé ou en marche;

2° Emploi de gouvernails horizontaux produisant *sur le navire en marche seulement* nne inclinaison de l'axe, qui détermine une plongée dont il n'y a plus qu'à déterminer et maintenir la profondeur.

FLOTTABILITÉ NULLE

P = P' : *Le poids est égal à la poussée*

A. — IMMERSION PAR INTRODUCTION D'EAU DANS DES RÉSERVOIRS

Cette condition a été longtemps considérée comme irréalisable et, de fait, il est aisé de comprendre toute la difficulté que l'on éprouve à tenir une égalité parfaite entre les deux poids ; en réalité on ne l'obtint jamais. De plus, les courants sous-

marins, les variations de pression atmosphérique, sont autant de facteurs qui influent sur l'équilibre du bateau.

Quel va d'ailleurs être cet équilibre? Nous allons être obligé, pour le définir, de tenir compte d'un élément nouveau, la compressibilité de l'eau de mer.

L'eau, en effet, n'est pas absolument indifférente à la pression qui s'exerce sur elle et, sous l'influence de cet effort, ses molécules se tassent plus ou moins, déterminant une variation, assez faible d'ailleurs, de la densité ; il en résulte que, les couches d'eau superposées pesant naturellement l'une sur l'autre, la densité à une profondeur quelconque sera fonction de cette profondeur et variera dans le même sens qu'elle.

Imaginons alors le bateau sous-marin dont nous nous occupons, flottant à la surface et, par un jeu de pompe convenablement disposé, remplissons peu à peu ses réservoirs intérieurs. Son poids alors va augmenter de tout le poids de l'eau introduite sans que son volume varie : obéissant donc au principe des corps flottants, il va s'enfoncer peu à peu, de telle sorte que le volume d'eau déplacé ait toujours un poids égal au poids total du bateau. Quand la densité moyenne de celui-ci sera devenue égale à la densité de l'eau à la surface, il se retrouvera complètement enveloppé d'eau, sa partie supérieure affleurant la surface libre. La moindre augmentation du water-ballast va maintenant provoquer la chute du bateau, à travers la masse liquide sous l'influence d'une force égale à cet excès de poids du bateau sur l'eau déplacée, et cette chute durera théoriquement jusqu'à ce que ledit bateau ait rencontré dans les couches plus profondes, la couche de même densité que sa densité moyenne. Là il se tiendra en équilibre, indifférent entre les couches supérieures moins denses et les couches inférieures plus denses.

Dans la pratique, le résultat est beaucoup moins simple.

Si nous appelons coefficient de compressibilité d'un corps la diminution de volume éprouvée par l'unité de volume de ce corps, quand on fait croître la pression, qu'elle subit normalement en chaque point, d'une quantité égale à l'unité de pres-

sion par unité de surface, c'est-à-dire quand on augmente la pression normale de 1 kilogramme par centimètre carré, nous trouvons, comme résultat d'expériences classiques, que le coefficient de compressibilité de l'eau est 0,000046. Cette augmentation de pression de 1 kilogramme nécessitera, la densité de l'eau de mer à la surface étant 1,026, un accroissement de profondeur de $\frac{10}{1^{m},026}$, c'est-à-dire que nous devrons enfoncer de près de 10 mètres dans la masse liquide pour avoir une augmentation de densité de 46 millionièmes.

On voit dès lors combien cette densité de l'eau de mer croît lentement avec la pression et, par suite, combien sera faible l'excédent de water-ballast à prendre pour obtenir une immersion même profonde. C'est là un point délicat qui intéresse la précision des appareils d'introduction et d'expulsion d'eau, appareils dont nous parlerons plus loin.

Une remarque est à faire toût de suite parce qu'elle ne touche en rien au mécanisme d'immersion, mais découle seulement du principe ici appliqué.

Le bateau partant de la surface, où il affleurait supérieurement, commence, sous l'influence d'une force verticale égale à son excès de water-ballast, une chute qui doit le conduire à son plan d'immersion. Il est alors soumis à l'action d'une force verticale graduellement décroissante, qui va s'annuler en arrivant au plan d'immersion, et il prend, sous son influence, un mouvement qui s'accélère un peu moins vite que le mouvement uniformément accéléré qu'il prendrait, si l'eau était de densité uniforme et, par suite, l'excès du poids constant. Il n'en acquiert pas moins dans cette chute, de nature spéciale, une certaine quantité de mouvement, et, par suite, une certaine puissance vive qui arrivera à son maximum quand la force qui l'a engendrée cessera d'agir. Ce sera alors cette énergie emmagasinée dans le corps en mouvement qui agira pour provoquer la continuation de ce mouvement descendant à travers les couches plus profondes et plus denses où le bateau aura à lutter contre le frottement de l'eau sur ses parois et contre

une force verticale ascendante provenant du léger excès pris par la poussée sur le poids. Ces actions peu à peu annuleront la puissance vive acquise au début, et le bateau finira par s'arrêter dans une couche d'eau inférieure au plan horizontal d'immersion qu'on lui a choisi et dans laquelle il aura une flottabilité positive, c'est-à-dire subira une poussée verticale dirigée vers le haut.

Sous l'influence de cette poussée, qui décroîtra à mesure que le navire s'élèvera, celui-ci va se mettre en mouvement et remonter verticalement jusqu'à son plan d'immersion, puis, ayant encore acquis une quantité d'énergie fournie par la poussée qu'il vient de subir, il va, à l'inverse du cas précédent, dépasser son plan d'immersion pour pénétrer dans les couches supérieures, plus légères que lui, jusqu'à ce que le poids, devenu supérieur à la poussée, ait détruit la puissance vive acquise dans le mouvement de montée au-dessus du plan d'immersion.

A partir de ce moment, la chute verticale va reprendre, avec les mêmes phénomènes, présentant seulement moins d'amplitude, et on voit tout de suite que le bateau n'arrivera à se fixer à son plan d'immersion qu'au bout d'un certain nombre d'oscillations verticales d'amplitudes décroissantes, fort comparables à des oscillations pendulaires dans un milieu résistant.

On peut encore comparer ce procédé à l'appareil de démonstration, le *ludion*, si connu dans les cabinets de physique, et qui comme on le sait, a pour organe principal une petite boule en verre, percée, à sa partie inférieure, d'une petite ouverture par laquelle l'eau peut entrer ou sortir, selon que l'air intérieur de la boule est plus ou moins comprimé par suite des légères pressions effectuées sur le piston placé sur l'éprouvette.

Nous nous trouvons ici dans un cas autrement délicat et, en réalité, l'emploi des appareils à main n'a jamais permis d'obtenir une immersion régulière ni un équilibre un peu durable, à une profondeur déterminée. Il faut noter, en effet, que, en raison de la lenteur des variations de la densité avec

la profondeur, la moindre quantité d'eau introduite en trop ou en moins a pour conséquence un déplacement vertical sensible du bateau. Cette influence agissant au hasard, tantôt pour aider, tantôt pour contrarier le travail des forces vives acquises, sans même parfois que le conducteur du bateau en ait conscience exacte, il s'ensuit que les oscillations pendulaires dont nous avons parlé sont, de plus, irrégulières et que le bateau danse, en réalité, autour de son plan d'immersion, et s'affole, pour ainsi dire, souvent pendant un temps assez long et de façon telle que l'équilibre est presque impossible à obtenir ou au moins à maintenir.

Il faut remarquer en effet que, le bateau étant supposé plongé dans une masse liquide de même densité que lui, y est en équilibre indifférent, la moindre influence extérieure suffit alors à détruire cet équilibre et, soit que la pression atmosphérique varie, soit qu'un courant sous-marin qui ne soit pas exactement horizontal et donne, par suite, dans son choc contre le bateau une composante verticale, si petite soit-elle, aussitôt le bateau quitte son plan d'immersion et reprend ses oscillations verticales, qui sont, en réalité, sa seule manière de se tenir.

Donc le bateau immergé par annulation de sa flottabilité, au moyen d'un water-ballast introduit par ses appareils à main, se tient tellement mal qu'il serait inutilisable.

Aujourd'hui cependant, grâce au principe de l'asservissement des moteurs que M. Joseph Farcot a, le premier, mis en pratique, dès 1868, on arrive à obtenir une régularité d'immersion assez satisfaisante.

« Sans l'emploi de *servo-moteurs*, — dit M. Ledieu dans son étude sur les bateaux sous-marins, — il n'y a pas de stabilité d'immersion possible ; et c'est là un point dont l'importance a longtemps échappé aux inventeurs de bateaux sous-marins. En d'autres termes, il faut que les divers organes qui concourent à la stabilité d'immersion soient *asservis* de façon à suivre docilement les mouvements de la main qui les commande. »

La question à résoudre se résume à adapter au bateau un dispositif automatique *à action aussi rapide que possible*, capable de faire varier le poids du water-ballast, — diminuer ce poids aussitôt que le bateau descend au-dessous du plan d'immersion qu'on lui a assigné; — augmenter, au contraire, ce poids dès que le bateau remonte au-dessus de son plan d'immersion.

Il est clair que l'on crée ainsi une action antagoniste agissant comme résistance aux oscillations qui, dès lors, auront beaucoup moins d'amplitude et se prolongeront beaucoup moins longtemps, — quelle que soit la cause qui les ait originellement produites. On pourra ainsi arriver à restreindre ce mouvement perturbateur et à le ramener à des limites de grandeur et de temps pratiquement assez petites pour que le sous-marin soit utilisable.

Nous allons indiquer le principe de ces moteurs asservis et montrer rapidement quel est leur mode d'action et le résultat qu'ils procurent.

La manœuvre des pompes s'obtient automatiquement par le dispositif suivant :

Sur le côté du sous-marin est ménagé un orifice dans lequel vient se placer un piston qui, tout en formant joint étanche, au moyen d'une garniture spéciale, peut néanmoins être animé d'un faible déplacement en avant ou en arrière, sous l'influence de deux actions antagonistes agissant respectivement sur chacune des faces de ce piston.

Ces deux actions antagonistes sont, d'une part, la pression de l'eau qui varie avec la hauteur d'immersion et, d'autre part, l'action d'un ressort qui agit d'une façon d'autant plus énergique qu'il est tendu plus fortement.

Lorsque le sous-marin se trouve dans le plan d'immersion pour lequel il a été réglé, le ressort fait équilibre à la colonne d'eau ayant pour base la surface du piston hydrostatique et pour hauteur la distance verticale du centre d'action de ce piston au niveau supérieur.

Dans ces conditions, le bateau est réglé de façon que la manette du servo-moteur soit perpendiculaire à la tige de

commande, comme l'indique le tracé schématique de la figure 3.

Si le bateau remonte au-dessus de son plan d'immersion, la colonne d'eau supportée par le piston hydrostatique diminue, le ressort devient donc prépondérant, et le piston hydrostatique est poussé vers l'avant; par suite, la manette du servo-moteur s'incline à droite et actionne la pompe aspirante et foulante; une certaine quantité d'eau est introduite dans le réservoir water-ballast, et le sous-marin tend à redescendre et à se rapprocher de son plan d'immersion.

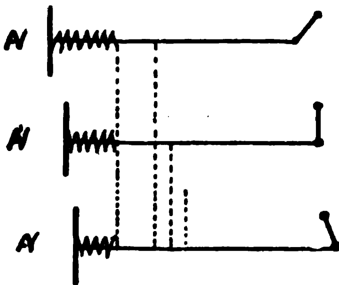


Fig. 3.

Si le bateau descend au-dessous de son plan d'immersion, c'est au contraire l'action de la colonne d'eau qui devient prépondérante sur l'action du ressort; celui-ci est comprimé, et la manette s'incline à gauche; une certaine quantité d'eau est expulsée, et le bateau tend à remonter pour se rapprocher de son plan d'immersion.

Donc, par le seul jeu du mécanisme que nous venons de décrire, le bateau subit un réglage automatique qui tend à le ramener constamment dans son plan d'immersion.

On obtient le réglage, à l'aide d'une clef, graduée aux diverses profondeurs, ce qui permet d'amener la tension du ressort à la division correspondante à la profondeur désirée.

Comme il ne faut *qu'une très petite quantité d'eau* introduite en plus ou en moins dans l'intérieur du bateau, lorsqu'il arrive à son plan d'immersion; quelques inventeurs préfèrent avec juste raison emmagasiner avant l'immersion une quantité approximative d'eau dans les réservoirs intérieurs pour vaincre la flottabilité du bateau. Ce dernier s'immerge lentement; puis, dès qu'il arrive à son plan d'immersion, un piston hydrostatique ou un manomètre à mercure destiné à mesurer les profondeurs d'immersion, et disposé suivant le principe

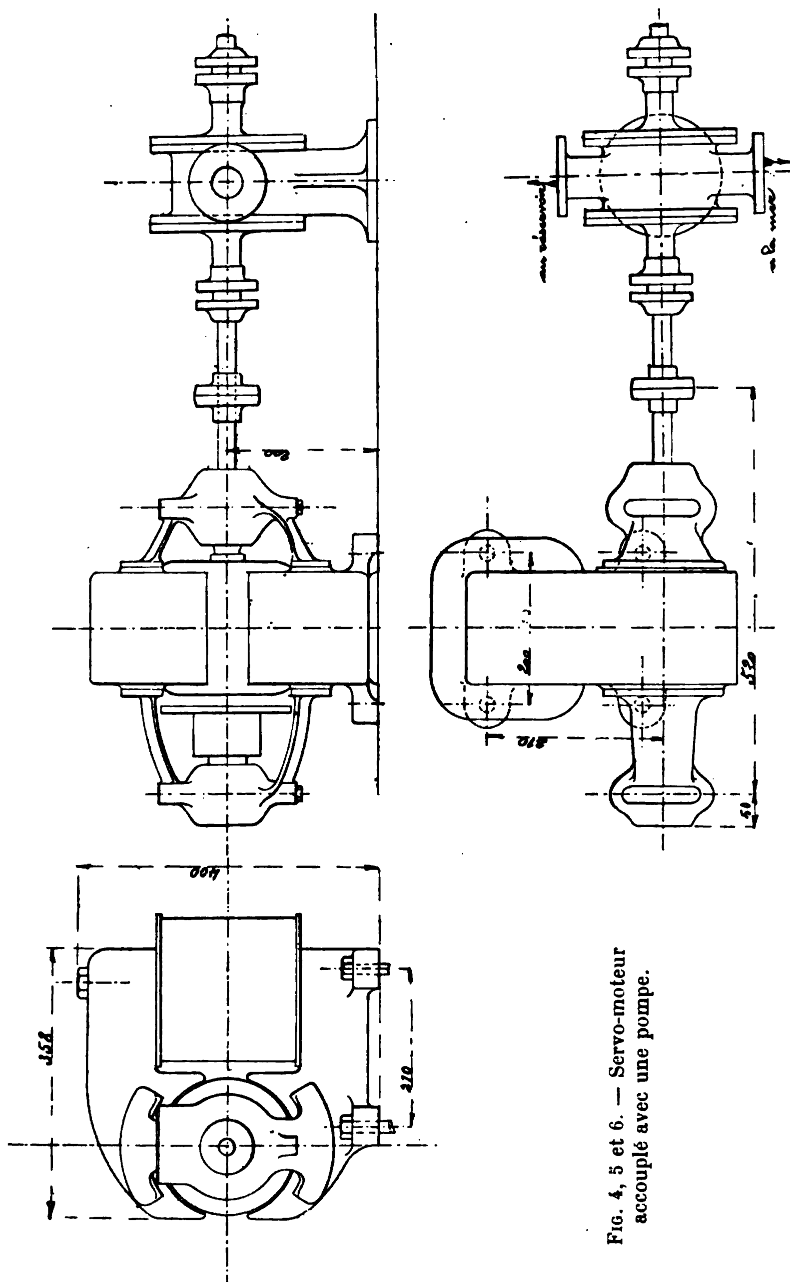


Fig. 4, 5 et 6. — Servo-moteur accouplé avec une pompe.

que nous venons d'exposer, fait entrer ou sortir d'un petit cylindre, par l'intermédiaire d'un servo-moteur, la quantité d'eau nécessaire pour maintenir le bateau dans son plan d'immersion.

Dans tout ce qui précède nous avons — en partant d'oscillations verticales — supposé implicitement que nous cherchions à réaliser l'immersion sur place d'un navire au repos. Pas un mot cependant n'est à changer à ces explications, qui subsistent entières, si nous considérons un bateau en marche, c'est-à-dire animé déjà d'une vitesse horizontale quelconque (*fig.* 7).

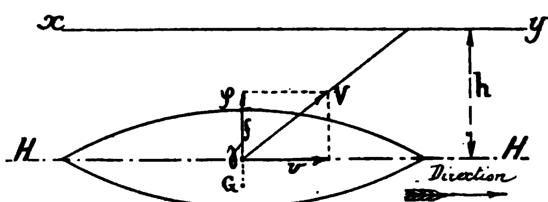


Fig. 7.

La seule différence à noter est que la vitesse v du bateau dans le sens horizontal, se composant avec la vitesse φ, qu'il prend verticalement sous l'influence des poids ou des poussées, donne une vitesse résultante oblique, variable de direction avec la valeur ou la direction γV et qui fera décrire, au centre de gravité de ce bateau, une trajectoire oblique et même courbe, et que les oscillations se traduiront ici par une trajectoire sinusoïdale dont les flèches, par rapport au plan d'immersion, représenteront les amplitudes que nous appellerons, dans ce cas, *embardées* en profondeur ou en hauteur.

Les *servo-moteurs* auront, d'ailleurs, le même rôle et la même influence que dans le cas d'une immersion au repos.

Nous croyons que, si quelques inventeurs arrivent à corriger dans une certaine mesure ces variations de hauteurs d'immersion, c'est un peu grâce à la faible vitesse de translation de leur bateau.

L'idée très ingénieuse qu'a eue M. Goubet de disposer de larges ailerons horizontaux sur tout le pourtour de son sous-

marin permet de donner à la dynamo le temps matériel d'atteindre sa vitesse de régime normal.

D'autre part, ces ailerons, lorsque le sous-marin s'incline pour une cause quelconque, peuvent devenir un obstacle considérable à la rectification immédiate de son horizontalité. On verra plus loin qu'il est de la plus haute importance que les inclinaisons que peut prendre un sous-marin, dans le plan vertical, soient rectifiées, pour ainsi dire instantanément, afin d'éviter les embardées en profondeur.

Une seule question va se poser ici, ce sera de voir quel résultat aurait une inclinaison accidentelle de l'axe du bateau, inclinaison qui aurait pour effet de modifier la direction v et, par suite, la grandeur et la direction de la vitesse résultante.

C'est cette question concernant les sous-marins à flottabilité nulle que nous allons rapidement examiner :

Stabilité d'assiette longitudinale

Le principal obstacle à la marche d'un sous-marin à flottabilité nulle consiste, en effet, dans la rupture d'équilibre qui se produit par suite du déplacement de poids à l'intérieur provenant des manœuvres à bord, du mouvement des hommes d'équipage, etc... De ces déplacements résultent des inclinaisons de l'axe longitudinal du navire et de son plan vertical médian.

A ce sujet, citons les observations suivantes de l'amiral Bourgeois, dans son rapport pour la construction du *Plongeur*.

« Le produit $P \times OG$ est ce qu'on appelle le moment de *la stabilité de poids* dans la théorie du navire. Cette stabilité de poids est la seule que possèdent les corps complètement immergés, attendu que leur inclinaison n'apporte aucun changement à leur immersion.

« Dans le projet de bateau sous-marin que nous avons particulièrement en vue, P est égal à environ 350.000 kilogrammes, et OG peut être évalué approximativement à $0^m,50$.

« Si l'on suppose $P = 1.500$ kilogrammes et $AG = 10$ mètres,

on trouve :

$$\text{tang}\, I = \frac{1.500 \times 10}{350.000 \times 0,50} = 0,0857,$$

d'où :

$$I = 4^\circ 54',$$

« P étant le poids du navire ;

« OG, la distance du centre de gravité au centre de carène ;

« AG, la distance du centre de gravité à laquelle on a porté un poids de 1.500 kilogrammes ;

« I, l'angle de l'inclinaison produit par le déplacement de ce poids. »

« Ce déplacement d'un tonneau et demi, à 10 mètres sur l'avant ou sur l'arrière du centre de gravité, dépasse, dans la construction que nous considérons, tous les déplacements accidentels que l'on peut raisonnablement prévoir pendant la navigation entre deux eaux, et l'on voit qu'il ne produirait qu'une inclinaison modérée et sans aucun inconvénient, pourvu toutefois que le centre de gravité fût placé à $0^m,50$ au-dessous du centre de carène, comme nous l'avons admis.

« Or c'est là une condition qu'il sera toujours facile de remplir, en plaçant du lest en fer dans les parties inférieures du bateau et en munissant celui-ci d'une quille en fer de fortes dimensions.

« Le dispositif généralement employé, pour maintenir horizontal le sous-marin, consiste en un système de réservoirs d'eau placés à l'avant et à l'arrière du bateau. Dès qu'un mobile se meut à l'intérieur du sous-marin, au moment de la rupture d'équilibre de l'assiette, un pendule, fixé à la partie supérieure du bateau, se déplace sous l'action de la pesanteur et actionne un mouvement de renvoi en relation directe avec un servo-moteur. Ce dernier, sous les influences du pendule, détermine la mise en marche d'une pompe aspirante et foulante ; l'eau est aspirée dans un réservoir pour être refoulée dans l'autre de la quantité nécessaire pour ramener le pendule à sa position médiane. Comme on le voit, l'eau agit à la façon d'un poids compensateur.

« Un second procédé, toujours basé sur le principe des réservoirs équilibrants, consiste à employer l'air comprimé pour chasser l'eau des réservoirs, pourvu toutefois que la pression de l'air soit supérieure à la pression extérieure.

« On peut établir, dit l'amiral Bourgeois, à l'avant et à l'arrière du bateau, des compartiments à eau, installés, comme il a été dit, de façon à recevoir le liquide ambiant ou à permettre son expulsion par l'effet de la pression de l'air des réservoirs.

« En introduisant le liquide dans l'un de ces compartiments, on rendra le bateau plus lourd et, en même temps, on déplacera son centre de gravité, en le faisant marcher vers l'extrémité où se trouve le compartiment dont il s'agit. De sorte que, si l'on remplit, par exemple, le compartiment de l'avant, le bateau s'enfoncera par l'effet de l'accroissement de son poids et par celui de l'inclinaison qu'il prendra sur l'avant, si toutefois on le suppose animé d'une certaine vitesse. Si l'on vide, au contraire, ce même compartiment, le bateau, allégé, remontera vers la surface par l'effet même de cet allégement et par celui de la pente en arrière qui résultera de la diminution de pesanteur de l'avant.

« En résumé, ce premier moyen[1] de direction dans le plan vertical a l'inconvénient d'occasionner une certaine dépense d'air comprimé ; mais il produit son effet aussi bien quand le bateau est stationnaire que lorsqu'il est en marche. Tous les bateaux doivent donc être installés pour en faire usage. »

Ce dispositif permet, en réalité, d'obtenir une manœuvre excessivement rapide pour rétablir l'équilibre ; il a, en revanche, l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'une machine de compression et de réservoirs d'air comprimé. Il ne faut pas d'ailleurs compter pouvoir envoyer directement cet air comprimé dans les réservoirs équilibrants, qui ne pourraient pas

[1] Le premier moyen préconisé par l'amiral Bourgeois consistait à établir, de l'avant à l'arrière, sur le plancher de la chambre intérieure du bateau, de petits rails sur lesquels on faisait courir des chariots d'un certain poids. La position de ces chariots, par rapport au centre de gravité du bateau, réglait son assiette et, par suite, sa tendance à monter ou à descendre pendant la marche.

supporter le choc produit par la détente d'une masse d'air à 110 atmosphères. Il faudra donc adjoindre encore aux organes précédents une sorte de détendeur analogue à celui des machines à vapeur à très haute pression, détendeurs permettant de ramener l'air à une force élastique de 2 à 3 kilogrammes avant de l'envoyer par une tuyauterie spéciale dans les réservoirs d'eau.

Un accident à craindre encore serait la vidange complète d'un réservoir dans l'autre, si les tubes de communication arrivaient, sous l'influence d'une inclinaison exagérée, à former siphon.

Il sera bon d'ailleurs, pour éviter les accrocs et les chocs produits par le brusque déplacement d'une certaine masse d'eau, de constituer les réservoirs équilibrants de chambres étroites, séparées les unes des autres par des cloisons minces et percées d'une ouverture de peu de largeur.

B. — IMMERSION PAR CHANGEMENT DE VOLUME DU BATEAU

Ce procédé (*fig.* 8), qui est celui d'André Constantin, a été longuement décrit et discuté dans le premier volume de cet ouvrage, en étudiant les travaux de son inventeur.

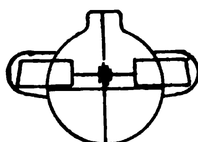


Fig. 8.

Il n'a jamais donné de résultats satisfaisants et a été abandonné; nous n'en parlerons plus.

APPAREILS DE STABILITÉ D'IMMERSION PAR INTRODUCTION D'EAU DANS LE CAS P = P'

Comme exemple et pour rendre plus clair tout ce qui précède, nous allons donner la description de quelques appareils permettant d'assurer automatiquement l'immersion d'un bateau sous-marin à toutes les profondeurs.

Appareil d'immersion, système Goubet

L'introduction de l'eau pour une profondeur déterminée se fait au moyen d'un robinet S dans un cylindre en bronze A.

Le cylindre (*fig.* 9) est fermé d'un côté par un couvercle I et de l'autre côté par une traverse-support V. Il est, en outre, traversé dans toute sa longueur par une tige filetée B suppor-

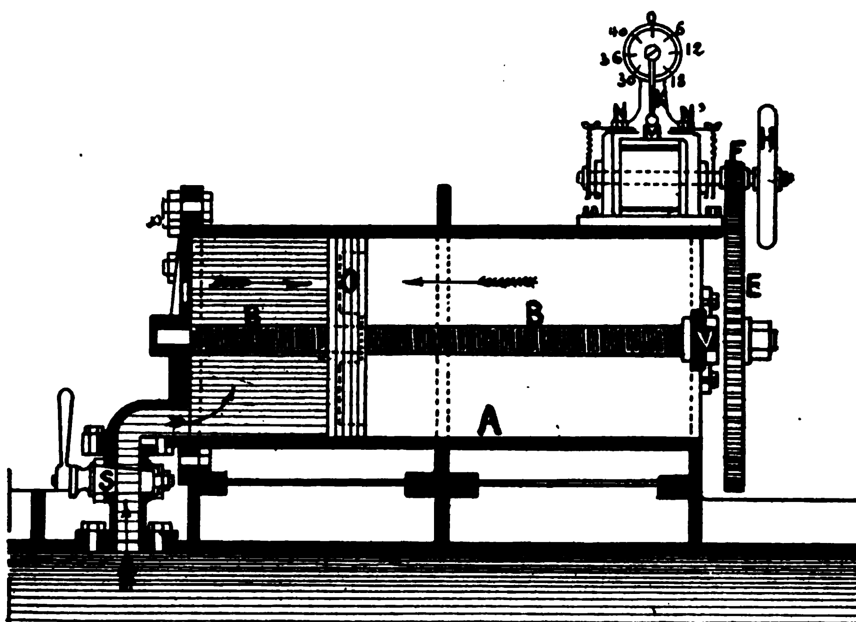


Fig. 9. — Régulateur automatique d'immersion Goubet.

tée à ses deux extrémités par le couvercle du cylindre A et la traverse-support V.

Sur cette tige est vissé un piston O dont la partie milieu est taraudée de façon à pouvoir se déplacer suivant une direction rectiligne d'après le sens de rotation de la tige. Cette tige est manœuvrée par une roue E, actionnée elle-même par la roue F, clavetée sur l'arbre de la dynamo.

Dans son mouvement de va-et-vient, le piston est, en outre, guidé sur toute la longueur du cylindre par deux guides-supports maintenus à leurs extrémités au fond du cylindre. Des presse-étoupes convenablement disposés assurent l'étanchéité du mécanisme.

Sur le cylindre est intallée une dynamo sur laquelle sont fixés deux contacts N et N', à droite et à gauche d'un commutateur M, placé à l'extrémité d'une tige K. Cette tige, dans laquelle passe un courant de faible force électromotrice, est isolée de l'axe de l'aiguille d'un manomètre, et peut indifféremment suivre les mouvements de l'aiguille ou être rendue libre sur son axe au moyen d'une vis de pression.

Désire-t-on, par exemple, descendre à 6 mètres de profondeur; on procède de la façon suivante : On rend libre le commutateur en desserrant la vis de pression, et on établit le courant en mettant le commutateur en communication avec le contact N. Aussitôt la dynamo se met en marche et actionne au moyen des engrenages F et E la tige filetée, le piston O se déplace alors en arrière et permet l'introduction de l'eau dans le cylindre. Dès que l'aiguille du manomètre indique la profondeur désirée (6 mètres), on coupe le circuit en laissant retomber le commutateur à sa position primitive; ensuite, à l'aide de la vis de pression, on le rend solidaire de l'aiguille de façon que, si pour une cause ou une autre, le bateau avait des tendances à monter ou à descendre en quittant son plan d'immersion normal, l'aiguille du manomètre indiquât immédiatement ces différences, et, par suite, entraînât le commutateur qui rétablirait le courant entre les contacts N ou N'. La dynamo recommencerait alors son action pour aspirer ou rejeter la quantité d'eau nécessaire pour faire revenir l'aiguille du manomètre et, par suite, le bateau à sa profondeur normale.

Pour remonter complètement à la surface, il n'y a qu'à rétablir le courant en mettant le commutateur M avec les contacts, jusqu'à ce que le piston O ait complètement refoulé l'eau contenue dans le cylindre. A ce moment, un débrayage interrompt le courant qui actionne la dynamo, et l'on ferme le

robinet S. Le volant H est utilisé dans le cas où on désirerait faire toutes ces diverses manœuvres à la main.

Système Brin et Chapmann

Ce régulateur se compose d'un tube en U (*fig.* 10), contenant une certaine quantité de mercure à sa partie arrondie. Une des branches de ce tube communique avec l'eau ambiante, et l'autre branche porte une tige métallique F pouvant se déplacer à volonté sur une règle L, graduée aux diverses pro-

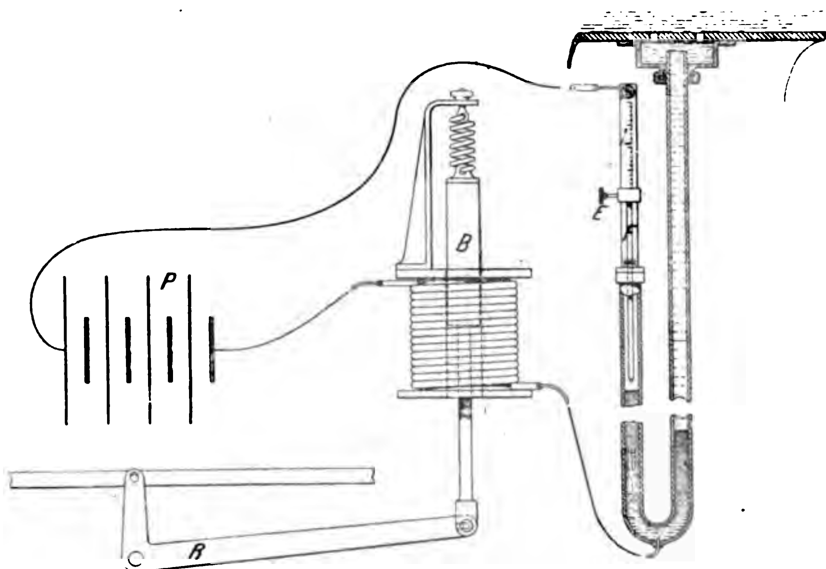


Fig. 10. — Régulateur automatique d'immersion Brin et Chapmann.

fondeurs d'immersion que l'on désire atteindre. Une vis de pression E la maintient dans une position fixe.

Si le bateau descend au-dessous du point convenu, la pression dans le tube met le mercure en contact avec la tige métallique pour fermer le circuit d'une pile P. Cette pile actionne un électro-aimant B, lequel, par l'intermédiaire d'un jeu de bielles R, ouvre ou ferme l'admission de vapeur dans un cylindre pour manœuvrer les pompes d'immersion.

MANOMÈTRE MÉTALLIQUE, SYSTÈME FOREST.

Le manomètre métallique du type Bourdon peut être disposé de façon à indiquer la profondeur d'immersion et la régler automatiquement.

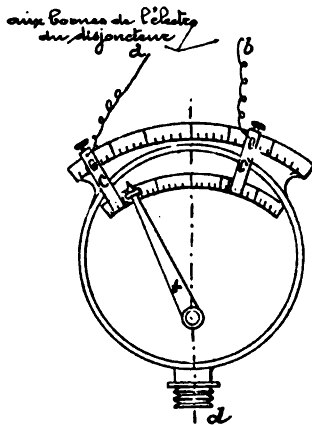


FIG. 11.

Sur le cadran du manomètre (*fig.* 11) est fixé un secteur gradué en divisions correspondantes à un dixième de kilogramme de pression. Chaque graduation correspond donc à 1 mètre de profondeur d'immersion à peu près.

Sur ce secteur, deux curseurs C et C′, reliés aux bornes de l'électro du disjoncteur-conjoncteur règlent les amplitudes de l'aiguille du manomètre; l'un correspond au minimum d'immersion; l'autre, à l'émersion.

Lorsque le sous-marin atteint son maximum d'immersion, l'aiguille du manomètre se trouve en contact avec le curseur C′, pour fermer le courant sur le disjoncteur ; l'électromoteur est mis en mouvement pour actionner la pompe d'immersion, laquelle rejette une certaine quantité d'eau ; le navire tend donc à remonter ; la pression diminuant, l'aiguille du manomètre quitte alors le curseur C′, et la pompe cesse de fonctionner.

Si le navire avait des tendances à remonter, l'aiguille du manomètre se mettrait en contact avec le curseur C, et la pompe fonctionnerait en sens inverse ; une certaine quantité d'eau serait de nouveau rejetée, et l'émersion cesserait.

Manomètre a mercure F. Forest

Le manomètre à mercure agit sur la pompe d'immersion de la même façon que le manomètre métallique, en intercalant un disjoncteur conjoncteur entre l'électromoteur et le manomètre.

La profondeur d'immersion est réglée en fixant la pointe métallique P (*fig.* 12), en face de la division qui correspond

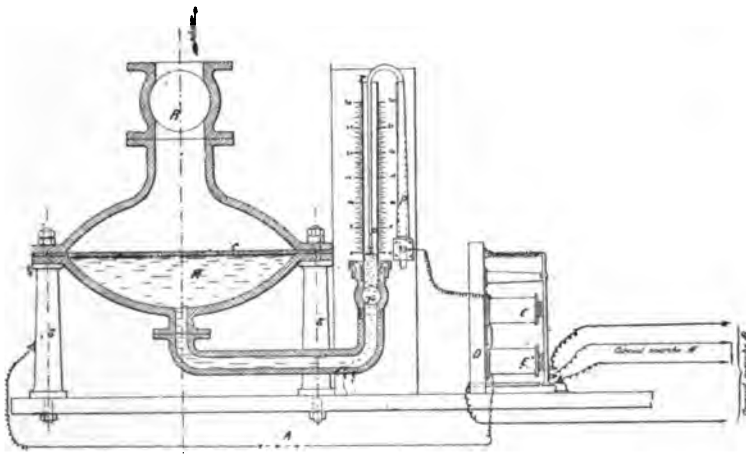


Fig. 12. — Manomètre à mercure, F. Forest.

Légende. — A, accumulateur; C, plaque de caoutchouc; D, disjoncteur conjoncteur; M, mercure; P, *p*, tige de contact; S, supports de l'appareil; R, *r*, robinets.

à la profondeur d'immersion désirée. Lorsque le navire s'immerge, l'eau entre par le robinet R, et passe sur le diaphragme en caoutchouc O; le mercure est chassé dans le tube en verre et vient en contact avec la pointe métallique P, ce qui a pour effet de fermer le conjoncteur et de mettre l'électromoteur en mouvement pour faire fonctionner la pompe d'immersion.

*
* *

Le principal reproche que l'on puisse faire aux régulateurs automatiques réside dans ce fait qu'ils ne corrigent les embardées en profondeur que lorsque celles-ci se sont produites.

Pour remédier à ce grave défaut, surtout si le navire se déplace avec une grande vitesse, il faudrait, à notre avis,

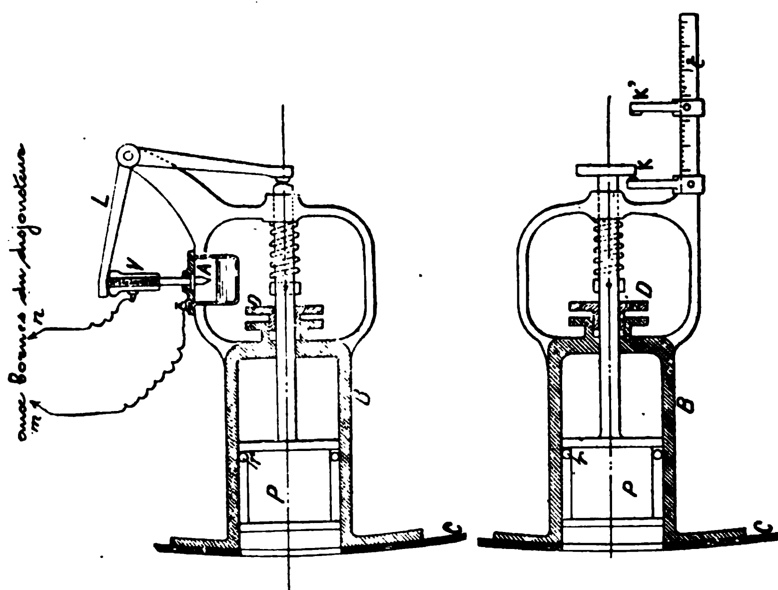


Fig. 13 et 14. — Piston hydrostatique, F. Forest.
Légende. — A, contact; B, cylindre; C, coque; D, presse-étoupe; L, levier; P, piston; r, rouleau en caoutchouc; K K', contact; t, tige graduée.

chercher à rendre ces appareils aussi instantanés que possible, c'est-à-dire faire en sorte que leur action fût pour ainsi dire simultanée avec les actions perturbatrices qu'ils doivent corriger.

Il est évident que si l'on a recours à l'action d'une pompe, mue par exemple, par un moteur électrique, il faut compter avec le temps nécessaire pour que cette pompe et le moteur qui l'actionne puissent se mettre en route sous l'influence du courant qui est envoyé par l'appareil d'immersion proprement

dit, et, comme la masse de ces pièces est assez considérable, le temps nécessaire sera appréciable, et l'embardée en profondeur aura eu le temps de prendre une certaine importance avant que l'ensemble mécanique puisse la corriger.

Si quelques inventeurs arrivent à corriger dans une certaine mesure ces variations de hauteur d'immersion, c'est un peu grâce à la faible vitesse de translation de leur bateau, ainsi qu'aux larges ailerons horizontaux placés sur tout le pourtour, qui créent une résistance au déplacement vertical et donnent ainsi à la dynamo le temps matériel d'atteindre sa vitesse de régime normal.

D'un autre côté, si nous supposons le sous-marin animé d'une certaine vitesse de translation, les pistons hydrostatiques, manomètres, ou autres appareils établis en vue de mesurer la profondeur d'immersion, cesseront d'être rigoureusement exacts.

En effet, et comme le faisait remarquer avec juste raison l'amiral Bourgeois, « la vitesse relative liquide ambiante exercera sur la pression que ce liquide fait éprouver à la surface latérale des corps plongés une influence applicable, sans que cependant la science ni l'expérience aient encore donné la loi de ces variations de la pression statique latérale en fonction de la vitesse.

« Quelques auteurs, notamment M. Dubuat, estimaient, à la vérité, que, lorsqu'un corps était animé d'une certaine vitesse, la pression statique exercée sur ses côtés dominait de toute la hauteur due à cette même vitesse. » Les expériences que fit l'amiral Bourgeois à ce sujet sembleraient démontrer l'inexactitude de ce principe et le peu d'influence de la vitesse, surtout quand elle est faible sur la pression latérale.

Nous allons donner une très courte description d'un système de régulateur qui, à notre avis, permettrait d'obtenir des effets instantanés.

Régulateur automatique d'immersion, système H. Noalhat

Une pompe A (*fig.* 15), mue par un moteur électrique B, dont le schéma d'enroulement est indiqué en dessus, enverrait de l'eau prise dans le *water-ballast* dans un réservoir C, parfaitement étanche et pouvant supporter une pression assez

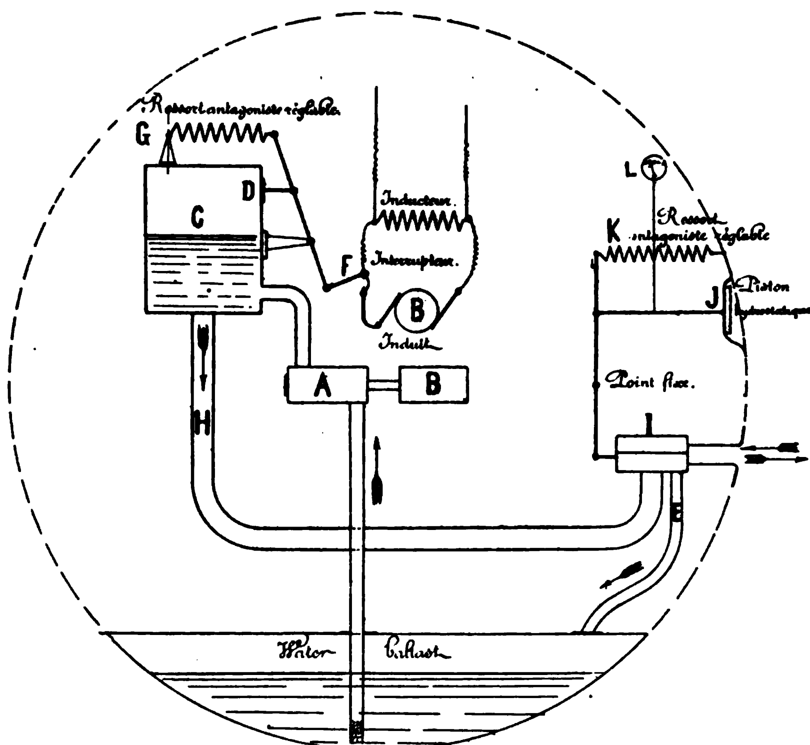


Fig. 15. — Régulateur automatique d'immersion, H. Noalhat.

forte. L'eau montant dans le réservoir y comprimerait l'air, et, quand la compression serait arrivée à la limite fixée d'avance, un piston D, fixé à la partie supérieure, se déplacerait de l'intérieur vers l'extérieur et viendrait manœuvrer l'interrupteur F.

Cet interrupteur couperait le courant dans l'induit de la dynamo tant que la pression n'aurait pas diminué dans le réservoir, auquel cas le courant se rétablirait sous l'influence du ressort antagoniste G.

On disposerait donc dans le réservoir C de l'eau placée constamment sous une pression considérable et qui ne demanderait qu'à s'échapper par le tuyau H ; ce tuyau serait à grande section pour que son action fût considérable.

Le tuyau H serait branché sur une boîte de distribution I communiquant elle-même, d'une part, avec l'extérieur du bateau et, d'autre part, avec le *water-ballast*.

Un tiroir placé dans cette boîte et sous la dépendance d'un piston hydrostatique ouvrirait la communication de l'extérieur soit avec le *water-ballast*, soit avec le réservoir C. Ce tiroir remplirait alors le rôle d'un robinet à deux voies, avec cet avantage de pouvoir donner de grandes sections de passage à l'eau sous pression du réservoir C.

Il est évident que, dans le premier cas, il y aurait rentrée d'eau extérieure dans le *water-ballast*, et dans le second expulsion de l'eau du réservoir vers l'extérieur ; on pourrait donc ainsi monter ou descendre, et cela avec une instantanéité aussi grande que possible, car, là, il ne s'agit plus d'inertie de pièces à mettre en mouvement.

On pourrait objecter qu'un tiroir de ce genre serait assez dur à manœuvrer à l'aide du piston hydrostatique, qui ne développe qu'un faible effort ; mais à cela il serait facile de trouver un système d'enclenchement analogue à celui employé dans beaucoup de moteurs à gaz et dans lequel le piston hydrostatique n'aurait qu'à enclencher les pièces de manœuvre du tiroir, qui s'ouvrirait sous l'influence du moteur du bateau.

Il faudrait, en outre, que le tiroir fût aménagé de façon à permettre, suivant les différents cas, la communication du *water-ballast* avec l'intérieur du bateau pour faciliter l'expulsion ou la rentrée d'air dans son réservoir afin qu'il n'y ait pas eu d'obstacle à sa vidange ou à son remplissage.

Tous ces mécanismes, que l'on pourrait varier à l'infini,

nous montrent combien il est facile, connaissant le principe du diaphragme flexible imaginé par M. Courbebaise et appliqué avec succès sur les torpilles automobiles, d'obtenir, par une simple transformation de mécanismes, un régulateur automatique d'immersion sinon parfait au moins susceptible de donner de bons résultats pratiques.

APPAREILS DE STABILITÉ LONGITUDINALE

Appareil de démonstration, système Goubet (*fig.* 16 et 17)

Cet appareil se compose en principe d'une enveloppe centrale A à laquelle aboutissent deux tubes égaux L, L′, terminés chacun par une sphère creuse CC′. Dans chacune des sphères plonge un tube PP′ aboutissant à une pompe à double effet E disposée dans l'enveloppe centrale. L'arbre de la pompe est relié par une transmission fixée sur un arbre transversal I.

Sur cet arbre tournent librement deux pignons d'angle RR′, dont les faces intérieures sont formées chacun de deux embrayages.

Ces deux pignons engrennent avec un troisième pignon T′, placé horizontalement; lequel tourne constamment sous l'influence du moteur du bateau.

Sur le milieu de l'arbre I est monté à frottement doux un autre embrayage F, de façon à pouvoir subir de légers déplacements rectilignes à droite et à gauche, par l'intermédiaire de la tige J d'un lourd pendule H.

Lorsque le bateau est en équilibre, c'est-à-dire tel que le représente l'ensemble du mécanisme, l'arbre I ne tourne pas, tant que le manchon d'embrayage F n'est pas rendu solidaire de l'un ou l'autre des deux pignons R, R.

Tout le système que nous venons de décrire est suspendu au point d'articulation O.

Dès que le bateau s'incline, le pendule fait-déplacer l'em-

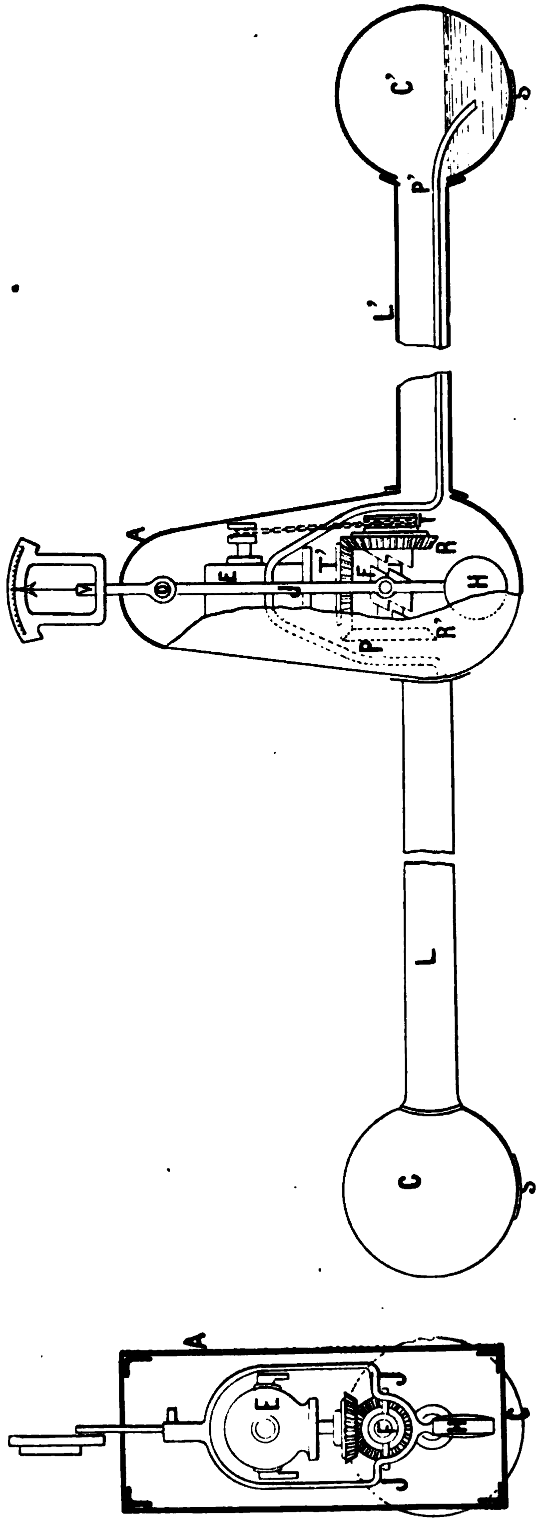


Fig. 16 et 17. — Appareil de démonstration Goubet.

brayage F, l'arbre I tourne, entraîné par le pignon qui vient d'être embrayé, et la pompe E est mise en mouvement dans un sens convenable. De l'eau est aspirée de l'une des sphères C pour être envoyée dans l'autre jusqu'au rétablissement complet de l'équilibre. Le déplacement d'un demi-mètre cube d'eau rétablit l'équilibre. Les crochets fixés au-dessous des sphères servent à accrocher des poids pour les expériences d'équilibre. Dans la pratique, M. Goubet a conservé le pendule au centre du bateau; il actionne, par un mode de transmission analogue à celui de l'appareil de démonstration, une pompe à double effet qui est en communication avec des réservoirs d'eau d'égale capacité et placés symétriquement l'un à l'avant, l'autre à l'arrière du bateau.

Appareil de stabilité longitudinale, système F. Forest

A chaque extrémité de la coque se trouve placée une chambre étanche contenant une certaine quantité d'eau variable suivant les dimensions du bateau; ces deux chambres D, D′ sont réunies par un fort tuyau F branché sur une pompe rotative, système

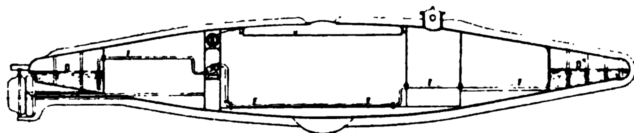


Fig. 18. — Réservoir équilibrant Forest.

Gremdt X, laquelle peut fonctionner dans les deux sens de rotation pour amener l'eau du réservoir d'avant et la refouler dans celui d'arrière et *vice versa*, suivant les besoins de la stabilité.

Cette pompe est actionnée par une dynamo E marchant également dans les deux sens.

Ces appareils sont tous sous la dépendance d'un niveau à

mercure V (*fig.* 19), construit sur le principe des niveaux d'eau des arpenteurs. Il se compose d'un tube horizontal en fer, de plusieurs mètres de longueur, et de deux éprouvettes verticales en verre. Ce tube est rempli de mercure, et les deux éprouvettes jusqu'à moitié environ de leur hauteur.

Dans chaque éprouvette plongent deux tiges métalliques A et A′ qu'on peut amener à quelques millimètres de la surface

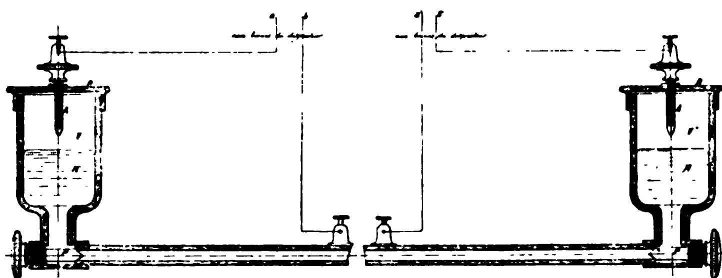


Fig. 19. — Niveau à mercure Forest.

du mercure; une des tiges est reliée à quelques accumulateurs, et l'autre commande la dynamo motrice de la pompe centrifuge.

La moindre dénivellation de l'axe longitudinal du sous-marin amène le mercure en contact des deux tiges métalliques et ferme ainsi le circuit qui doit actionner la dynamo dans le sens de rotation nécessaire pour rétablir la stabilité horizontale rompue par une cause quelconque, notamment par le déplacement des hommes de l'équipage. Le poids d'eau déplacé est égal à la moitié de la charge qui a momentanément rompu cette horizontalité.

Cet appareil sert à régler automatiquement la stabilité longitudinale, avant l'immersion complète et à maintenir cette stabilité pendant l'immersion horizontale, des sous-marins munis de 4 gouvernails horizontaux.

Appareil de stabilité longitudinale Nordenfelt

Dans son appareil de stabilité longitudinale, M. Nordenfelt place ses gouvernails horizontaux à l'avant et de chaque côté du bateau.

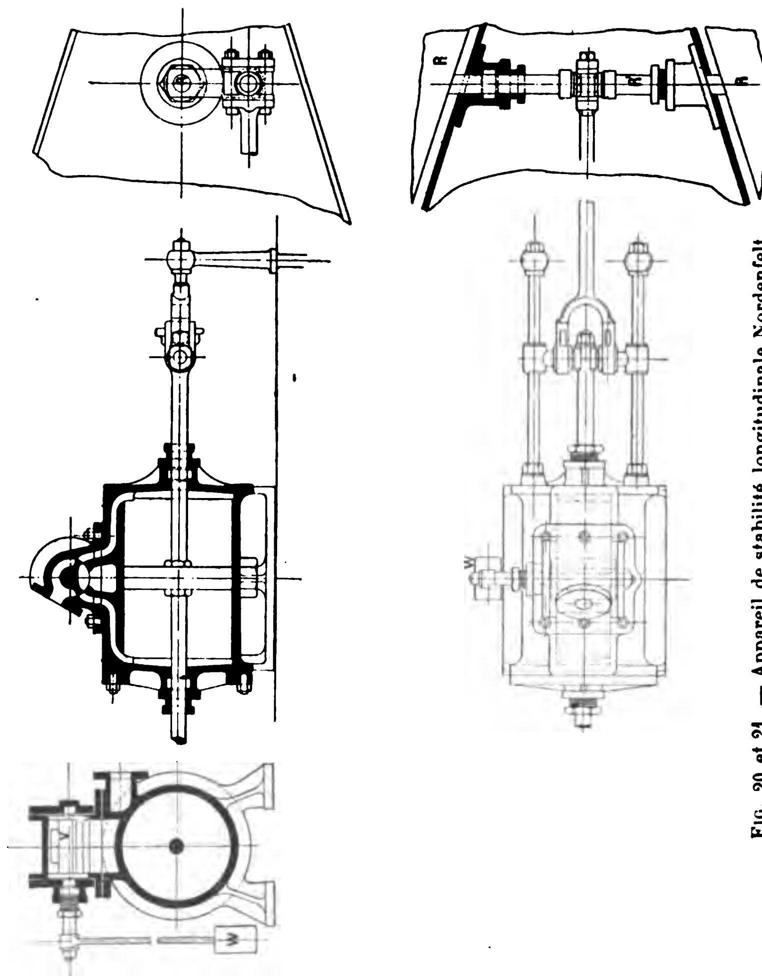


Fig. 20 et 21. — Appareil de stabilité longitudinale Nordenfelt.

Ces gouvernails R, R sont montés sur un arbre transversal R', lequel porte, dans la partie qui se trouve à l'intérieur du

bateau, une bielle contrôlée par un piston jouant dans un cylindre.

Les degrés d'amplitude de ces gouvernails sont réglés au moyen d'un lourd pendule W, fixé sur l'arbre d'une valve rotative V.

Un petit accumulateur maintenu chargé par une pompe fournit de l'eau sous pression à la chambre dans laquelle fonctionne la valve. Lorsque le bateau est horizontal, le pendule fixe la valve dans une position moyenne, position où elle ferme les deux passages conduisant l'eau sous pression au cylindre.

Toute déviation du bateau dans sa position horizontale aura pour effet de faire fonctionner la valve, laquelle découvrira l'un ou l'autre des passages communiquant avec l'alimentation et l'autre à la détente; les gouvernails horizontaux seront donc mis en action pour obliger le bateau à revenir dans sa position d'équilibre.

CHAPITRE II

IMMERSION ET STABILITÉ

(*Suite*)

FLOTTABILITÉ POSITIVE

$P < P'$: *La poussée l'emporte sur le poids*

Considérons maintenant le cas où nous voudrions faire immerger un bateau en laissant son poids inférieur à son déplacement. Il nous faudra alors trouver un dispositif créant une action mécanique capable d'annuler l'effet de la poussée.

Les inventeurs partisans de ce procédé d'immersion estiment non sans raison que, si le servo-moteur qui commande l'appareil destiné à régler la profondeur d'immersion du sous-marin, ou tout autre appareil intérieur venait à ne plus fonctionner, le bateau serait sujet à gagner une profondeur telle que sa coque ne serait pas assez forte pour résister à l'énorme pression de la colonne d'eau placée au-dessus d'elle et serait écrasée.

Une considération non moins importante a trait à la sécurité du navire, au cas même où il ne s'enfoncerait pas au-delà des limites pour lesquelles la résistance a été calculée.

Si, en effet, un bateau à flottabilité nulle ne peut plus manœuvrer ses appareils de retour à la surface, soit que ces appareils soient détériorés, soit que l'équipage soit rendu impuissant, — comme il arriverait s'il subissait un commence-

ment d'asphyxie, fait qui s'est produit, — ce bateau ne remonterait jamais à la surface et serait irrémédiablement perdu, corps et biens.

Si le bateau possède, au contraire, une flottabilité positive, alors que tout se sera arrêté à bord, il reviendra à la surface sous l'action de la poussée et se trouvera ainsi, de lui-même, placé hors de danger ou, au moins, à proximité de secours.

Néanmoins ce procédé de sécurité n'est guère que relatif; si on conçoit qu'un sous-marin de quelque importance embarque toujours plus ou moins d'eau, provenant de fuites difficiles à apercevoir. On est donc exposé, si la flottabilité positive est faible, à voir cette dernière annulée en peu de temps par l'eau embarquée. D'un autre côté, si cette flottabilité est élevée, et qu'elle ne soit pas annulée en marche par un dispositif rigoureusement approprié, elle crée une action perturbatrice considérable, à ajouter à celles déjà si nombreuses auxquelles est soumis un sous-marin.

Enfin l'excès de flottabilité est considéré également comme un facteur important de stabilité du sous-marin; *combattue efficacement*, elle soumet l'immersible à un jeu de forces qui le soustrait, dans une certaine mesure, aux influences extérieures, alors que la flottabilité nulle, $P = P'$, laisse le sous-marin en équilibre indifférent et, de ce fait, le rend plus sensible aux actions perturbatrices du milieu dans lequel il se trouve.

Avant d'entrer plus avant dans le problème, nous croyons utile de donner quelques indications sur la façon dont on peut régler expérimentalement, dans un sous-marin, l'excès de flottabilité.

En dehors de la flottabilité de marche à la surface établie *une fois pour toutes* en rapport avec l'agencement général du bateau, immersion complète des propulseurs, gouvernails, stabilité, etc., et correspondant au maximum de vitesse qu'on peut demander à la surface, toutes considérations gardées, la flottabilité dite de *plongée* pourra être pratiquement déterminée en remplissant les réservoirs du bord jusqu'à ce que le niveau de la mer vienne affleurer les points de repère que l'on aura

préalablement déterminés et correspondant à la valeur que l'on a choisie pour la flottabilité.

Nous avons vu que les procédés d'immersion en flottabilité positive sont de deux sortes :

1° Emploi d'hélices à arbres verticaux;

2° Emploi de gouvernails horizontaux provoquant la plongée du bateau en marche.

Nous allons étudier successivement ces deux cas :

A. — IMMERSION PAR HÉLICES A AXES VERTICAUX

Ce procédé d'immersion (*fig.* 22) a été appliqué pour la première fois par Bushnell, en 1773, selon certains auteurs, mais il n'est pas certain du tout que Bushnell ait connu l'hélice que nous ne retrouvons que 50 ans plus tard.

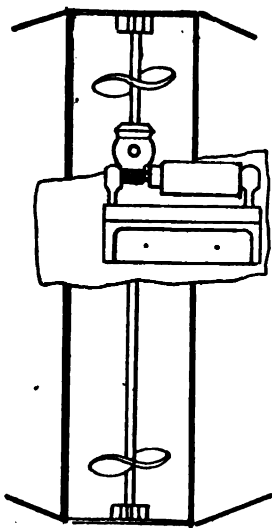


Fig. 22.

« Nous affirmons, — disent les auteurs des *Guerres navales de demain*, — que la navigation d'un sous-marin de plus de 200 tonneaux ne sera jamais pratique, si le bateau immergé ne possède pas une flottabilité de plusieurs dizaines de kilogrammes, flottabilité qui sera combattue par une hélice à arbre vertical passant par le centre de carène et ayant son palier de butée au centre de gravité.

« Sans flottabilité ou avec une flottabilité insignifiante, le sous-marin immergé se trouve dans une position d'équilibre indifférent; la moindre variation, dans les forces en jeu, le conduit à changer d'assiette et à prendre des inclinaisons souvent dangereuses. C'est qu'aucune force ne contribue à lemaintenir dans sa position normale.

« Au contraire, avec de la flottabilité et au moyen de l'hélice dont nous avons parlé, dès que l'assiette du bateau change, les

actions de la flottabilité et de l'hélice tendent toutes les deux à la ramener.

« La position d'équilibre n'est acquise que si ces deux actions sont exactement dans le prolongement l'une de l'autre et de même grandeur. Or elles ne se trouvent en pareille situation que dans le sous-marin *droit*. La stabilité d'un sous-marin dépend donc de la grandeur de sa flottabilité, et aussi de la distance séparant son centre de gravité de son centre de carène. Ceux-ci doivent se trouver sur une même verticale et le plus espacés possible. Il en résulte que la tourelle d'observation devra se trouver exactement au dessus. »

A notre avis, ce mode d'immersion sera bien difficilement réalisable dans la pratique ; du reste, les expériences qui ont été faites n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Examinons d'ailleurs les raisons qui viennent à l'appui de notre dire : En ce qui concerne la disposition d'une seule

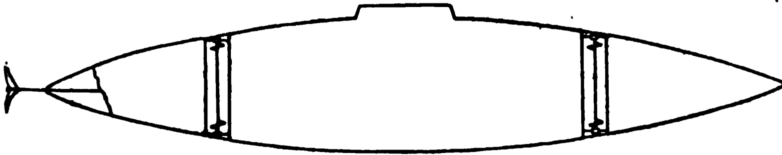


Fig. 23.

hélice actionnée par un moteur, on constate de prime abord que l'axe de l'hélice doit passer *exactement* par le centre de carène ; au cas contraire, il serait impossible d'obtenir une stabilité entre deux eaux.

Théoriquement cette condition pourra être remplie quand l'on dressera les plans du bateau ; mais, après la construction, nous doutons qu'elle soit parfaite. Il est même certain qu'elle ne le sera jamais.

C'est pour remédier à ce défaut que le *Waddington* dispose de deux hélices actionnées par des moteurs indépendants (*fig*.23), de façon à leur donner des vitesses différentes, ce qui permet de régler du même coup l'assiette longitudinale du bateau, en faisant varier la vitesse de l'un ou de l'autre de

ces moteurs. Ces hélices sont placées dans des puits verticaux et disposées à l'avant et à l'arrière aux trois quarts de la longueur du bateau.

Quant à M. Nordenfelt, il les place de chaque côté du bateau. L'horizontalité de l'axe longitudinal est réglée au moyen d'un gouvernail horizontal placé à l'avant.

Ces dispositifs, que nous venons d'énumérer, offrent en théorie toute satisfaction mais ne peuvent malheureusement donner de bons résultats en pratique.

On sait, en effet, combien il est difficile d'obtenir une concordance parfaite entre deux moteurs différents, par suite, les hélices ne travailleront jamais également. Nous en avons, du reste, des exemples frappants dans les bâtiments ordinaires où la propulsion est obtenue au moyen de deux hélices; et le cas que nous citons n'est rien en comparaison de celui qui nous occupe; en effet, que l'une des deux hélices soit légèrement prépondérante sur l'autre, et immédiatement cette tendance aura pour effet de détruire l'équilibre du bateau.

Relativement à l'emploi des hélices employées à la propulsion des bâtiments ordinaires, nous ferons remarquer que ces dernières travaillent normalement, et nous ne pouvons mieux les comparer qu'à des vis se mouvant dans l'eau. Il n'en est pas de même des hélices de sustentation. Elles supportent en effet sur leurs ailes un effort résultant de la direction de la marche du bateau; il se produira de plus des remous inconnus qui contrarieront d'une façon notable la vitesse de l'hélice considérée et rendront son travail irrégulier et de plus presque impossible à apprécier.

Cette discussion sommaire nous suffit à démontrer le peu de confiance que l'on doit apporter à un pareil mode d'immersion.

Du reste, les peu concluantes expériences qu'a fait M. Nordenfelt avec ses bateaux et l'abandon complet des études relatives à la navigation sous-marine par l'inventeur ont certainement rencontré là une des principales causes d'insuccès.

Ce procédé est d'ailleurs aujourd'hui totalement abandonné.

APPAREILS DE STABILITÉ POUR FLOTTABILITÉ POSITIVE

Système Nordenfelt

Indépendamment de son réservoir d'immersion pour l'introduction de l'eau, M. Nordenfelt conserve un excès de flottabilité, qu'il corrige ensuite à l'aide d'hélices à axes verticaux.

Ainsi que nous l'avons vu précédemment, ces hélices S, S (*fig.* 24) sont placées dans une boîte *t*, sur les côtés du bateau. Elles sont commandées chacune par un moteur *l* de 6 chevaux,

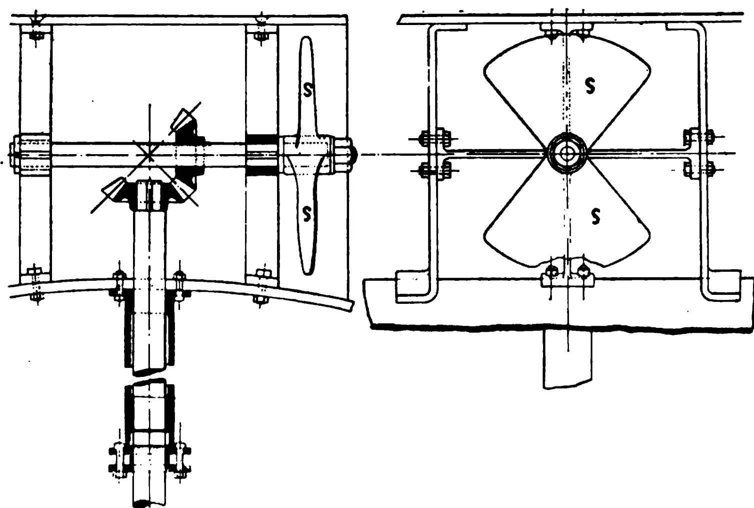


Fig. 24 et 25. — Appareil de stabilité par flottabilité positive Nordenfelt.

à l'aide d'engrenages d'angle. Un piston hydrostatique règle la profondeur d'immersion.

Dès que l'on dépasse la profondeur voulue, le piston ferme le tiroir d'admission de la vapeur dans le moteur, et les hélices cessent de fonctionner.

Le bateau, vu son excès de flottabilité, tend alors à remo ter à la surface ; immédiatement le piston, diminuant dans la

même proportion, ouvre le tiroir du moteur, et les hélices fonctionnent de nouveau pour ramener le bateau dans son plan d'immersion normal.

Hélices mobiles, système Baker

Ces hélices *h* (*fig.* 26) sont placées symétriquement au milieu des parois latérales du bateau et montées sur des arbres courts, portés par des coussinets *f*, formant manchon autour de l'arbre moteur principal H, sur lequel ils peuvent tourner.

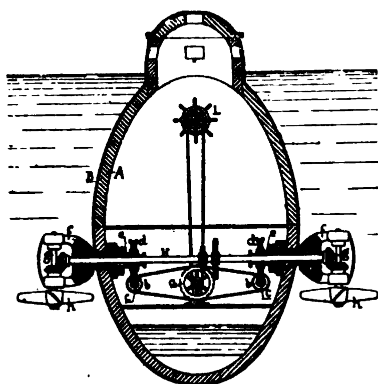


Fig. 26. — Hélices mobiles de Baker.

Des pignons d'angle, montés respectivement sur les extrémités de l'arbre moteur principal et engrenant avec des pignons semblables montés sur les arbres des propulseurs, actionnent les hélices. L'étanchéité est assurée par des presse-étoupes, *e*, convenablement disposés dans des manchons et supportés par des colliers.

Aux extrémités de ces manchons, qui sont placés à l'intérieur du bateau, sont fixées des roues *d* à dents hélicoïdales engrenant avec une vis sans fin, *c*, dont la commande se fait à la main.

Suivant le sens de rotation de ces vis sans fin, les propulseurs se déplaceront suivant un arc de cercle autour de l'arbre principal qui les met en mouvement et, par suite, la direction du bateau sera réglée simplement par le déplacement des propulseurs par rapport à l'arbre principal. Au moyen de ce réglage, le bateau peut être mû en avant ou en arrière, à la surface ou sous l'eau ; il peut aussi s'enfoncer ou sortir de l'eau suivant des directions d'angle quelconque.

Enfin, la dernière solution qui vient d'être mise en

pratique par M. Lake dans son sous-marin *l'Argonaute*, consiste à introduire dans des réservoirs une certaine quantité d'eau correspondante à la profondeur que l'on désire atteindre. Arrivé à cette profondeur, on laisse descendre de l'intérieur du bateau, au moyen de treuils, deux poids au fond de l'eau (*fig.* 27). Dès que ces derniers touchent le fond solide, le bateau allégé de ces poids, tend à remonter à la surface, en raison de la flottabilité ; mais il est maintenu prisonnier par les câbles d'attache et reste en équilibre stable entre deux eaux.

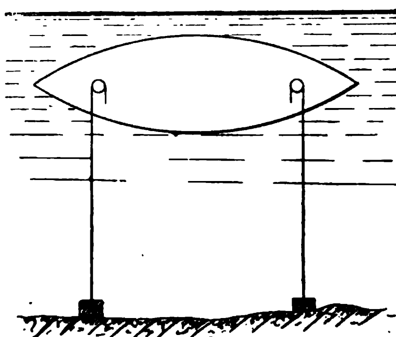


Fig. 27.

Ce dispositif, qui supprime d'un seul coup la délicate question de la stabilité d'immersion, ne peut être utilisé que lorsque le bateau est immobile. Néanmoins il pourra être d'une grande utilité dans un sous-marin construit au point de vue commercial, c'est-à-dire pour la recherche des épaves et, en général, pour tous les travaux sous-marins exécutés avec le nouvel engin qui donne aux explorateurs curieux de sonder le fond des mers, comme aux militaires jaloux de posséder l'arme la plus cruelle et la plus meurtrière, de si grands et si légitimes espoirs.

B. — IMMERSION PAR DES GOUVERNAILS HORIZONTAUX

De même que l'on dirige horizontalement un bateau flottant à la surface, — et aussi, comme nous le verrons, entre deux eaux, — au moyen d'un gouvernail vertical placé, de préférence, à l'arrière, dans le plan de symétrie longitudinal du navire ; ainsi encore doit-on, pouvoir analogue, diriger un bateau plongeur dans son plan vertical de plongée au moyen

d'un gouvernail horizontal mobile autour d'un axe perpendiculaire au plan vertical de l'arbre de couche.

Ce procédé, préconisé pour la première fois par les frères Coëssin, en 1809, et un peu plus tard, en 1823, par Montgery, a reçu sa première application pratique en 1872, dans le gouvernail d'immersion de la torpille Whitehead. La torpille automobile à gyroscope moteur et directeur de M. Howell, inventée quelques années plus tard, fut munie, elle aussi, d'un gouvernail horizontal dont l'effet fut reconnu satisfaisant.

Imaginons un bateau sous-marin, ayant une flottabilité positive et muni d'un gouvernail horizontal que, par analogie à ce que l'on fait pour le gouvernail vertical, nous placerons à l'arrière du bateau, et cherchons *a priori* ce qui va se passer sous l'influence de cet organe.

On voit immédiatement que si nous inclinons vers le bas le gouvernail horizontal, le navire va s'incliner lui-même en dirigeant son avant vers le bas ; sous l'influence de la vitesse propre que lui communique son hélice de propulsion, il va donc tendre à plonger dans la direction oblique de son axe. En même temps la poussée verticale ascendante résultant de la flottabilité crée une force qui tend à ramener le navire à la surface. Il est, dès lors, facile de concevoir un équilibre possible de ces deux forces, ou plutôt de tout le système de forces créé par elles, équilibre qui aurait pour conséquence le maintien du navire en marche dans un plan horizontal sur lequel son axe aurait une légère inclinaison.

Notons ici, en passant, que, en posant *a priori* le principe de l'immersion par un gouvernail, la nature même de l'action mécanique produite par ce gouvernail nous montre aussitôt l'inclinaison nécessaire de l'axe du bateau sur le plan horizontal. Mais considérons un sous-marin, immergé par un procédé quelconque, que nous savons seulement avoir une flottabilité positive f, et se déplaçant dans un plan horizontal H dont la cote, par rapport à la surface libre xy, est h. Soient G le centre de gravité et γ le centre de carène (*fig.* 28). Ce centre

de carène est animé de deux vitesses, l'une v, vitesse horizontale du bateau, l'autre φ, vitesse provenant de la poussée f. La résultante γV de ces deux vitesses sera la trajectoire réelle

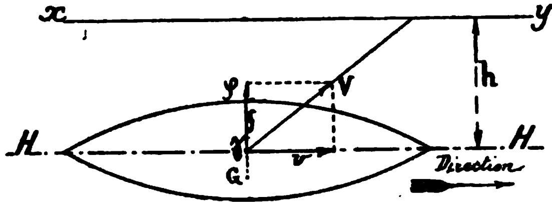


Fig. 28.

instantanée du centre de carène, et on voit immédiatement que, si γv est horizontal, γV sera forcément oblique, et le bateau remontera vers la surface dans sa direction.

Donc un sous-marin à flottabilité positive ne peut pas demeurer dans son plan d'immersion, si son axe est horizontal.

Le seul cas possible est celui de la figure 29, dans laquelle

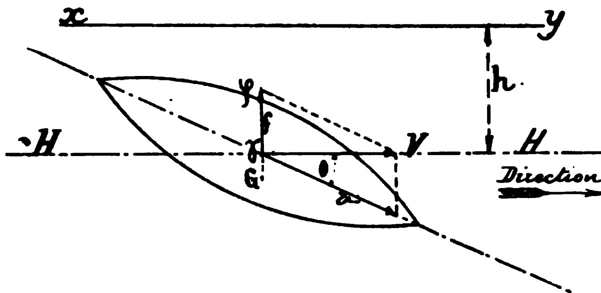


Fig. 29.

γv et $\gamma\varphi$ donnent un parallélogramme dont la diagonale γV est horizontale.

Appelons θ l'angle de l'axe du bateau avec le plan horizontal, v sa vitesse propre dirigée suivant γv, φ la vitesse verticale qu'il doit à la poussée f, et V sa vitesse résultante horizontale ; nous aurons :

$$\varphi = v \sin \theta ;$$

d'où, pour déterminer θ :

$$\sin\theta = \frac{\varphi}{v}.$$

La vitesse résultante sera alors :

$$V = v\cos\theta = \sqrt{v^2 - \varphi^2}.$$

Ces considérations nous montrent que, pour obtenir une immersion et une route satisfaisante avec un bateau à flottabilité positive, le procédé mécanique employé pour vaincre la flottabilité devra être tel qu'il produise par lui-même une inclinaison de l'axe du bateau l'avant en bas. Nous sommes donc conduits directement au gouvernail horizontal, et nous voyons, du même coup, la condamnation du système d'immersion par hélices verticales dont nous n'avions pu que constater l'insuccès. Dans ce dernier cas, en effet, l'inclinaison qui ne réglait pas les hélices se produisait quand même; mais alors elle venait jeter une perturbation énorme dans le travail de ces hélices et, en réalité, déséquilibrer le bateau par un jeu de forces inconnues et non mesurables.

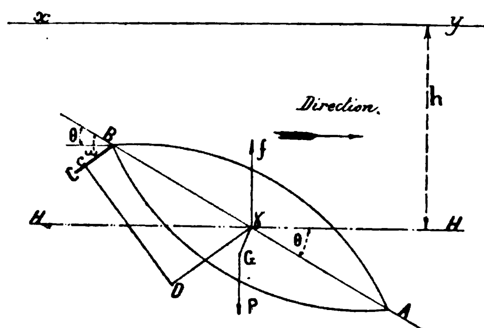


Fig. 30.

Considérons donc un sous-marin AB immergé dans le plan horizontal H de cote h (*fig.* 30). Ce sous-marin est muni d'un gouvernail horizontal BC incliné d'un angle ω sur l'axe du navire, qui fait avec le plan H un angle θ, et cherchons quel est le système de forces agissant sur ce corps.

Nous aurons :

1° La poussée f appliquée au centre de carène γ, et le

couple $P\delta \sin \theta$, δ étant la distance γG du centre de gravité au centre de carène; cette distance est d'ailleurs, par construction, perpendiculaire à l'axe du navire;

2° L'effort F normal au gouvernail, qui se décompose en une force verticale ascendante F_1 et un couple tendant à une rotation autour d'un axe parallèle à l'axe de rotation du gouvernail. L'effort normal étant proportionnel à la surface S^2 du gouvernail, au carré v^2 de la vitesse dans la direction de l'axe et au sinus de l'angle d'attaque, nous pouvons écrire :

$$F = kS^2v^2 \sin(\omega - \theta),$$

k étant une force constante expérimentale. Dès lors la force verticale F_1 résultant de cet effort, et qui n'est autre que la projection de F sur la verticale, aura pour expression :

$$F_1 = kS^2v^2 \sin(\omega - \theta) \cos(\omega - \theta);$$

3° La poussée Q de l'hélice, qui donne une composante verticale dirigée vers le bas, et qui a pour valeur $Q \sin \theta$;

4° La résistance de l'eau qui, proportionnelle au carré de la vitesse, et fonction de la forme du navire et de son inclinaison, peut être représentée par une expression de la forme :

$$Rv^2\psi(\theta).$$

En écrivant les équations d'équilibre par rapport au plan vertical, le seul évidemment qui nous intéresse ici, nous aurons d'abord, en annulant la somme des projections, des forces :

$$f + kS^2v^2 \sin(\omega - \theta) \cos(\omega - \theta) - Q \sin \theta - Rv^2\psi(\theta) = 0.$$

Exprimons maintenant les mouvements dont la somme, égalée à zéro, nous donnera la deuxième équation d'équilibre.

Nous avons vu que le poids P donne un couple dont le moment est $P\delta \sin \theta$.

L'effort F sur le gouvernail a pour moment :

$$F \cdot \overline{\gamma D} = kS^2v^2 \sin(\omega - \theta) - \overline{\gamma D}.$$

Mais, si nous négligeons la demi-largeur très petite Bc de la palette du gouvernail, nous aurons :

$$\overline{\gamma D} = \overline{\gamma B} \cos \omega,$$

et en appelant $2l$ la longueur du sous-marin :

$$\overline{\gamma D} = l \cos \omega,$$

et par suite :

$$\text{mom}\, F = kS^2v^2 \sin(\omega - \theta)\, l \cos \omega.$$

Quant au moment de la résistance de l'eau sur la carène, nous ne pourrons que le représenter par $- Rv^2\psi(\theta)$, et nous aurons pour seconde équation d'équilibre :

$$P\delta \sin \theta - kS^2v^2 \sin(\omega - \theta) \cos \omega - \text{mom}\, Rv^2\psi(\theta) = o.$$

Les équations qui peuvent déterminer ω et θ pour chaque valeur de la flottabilité seront donc :

$$\begin{cases} f + kS^2v^2 \sin(\omega - \theta) \cos(\omega - \theta) - Q \sin \theta - Rv^2\psi(\theta) = o \\ P\delta \sin \theta - kS^2v^2 l \sin(\omega - \theta) \cos \omega - \text{mom}\, Rv^2\psi(\theta) = o. \end{cases}$$

Ces formules compliquées seraient très difficiles, sinon impossibles, à appliquer numériquement; elles contiennent d'ailleurs des coefficients mal connus et même une fonction $\psi(\theta)$ absolument indéterminée ou, tout au moins, variable d'un instant à l'autre, comme son moment. Voyons cependant ce qu'elles vont nous donner, dans le cas où nous voudrions rendre l'axe horizontal, c'est-à-dire faisons-y :

$$\theta = o$$

en tenant compte de cette vérité évidente que $\psi(\theta)$ est telle que :

$$\psi(\theta) = 0$$

Nous aurons alors simultanément :

$$\begin{cases} f - kS^2v^2 \sin\omega \cos\omega = 0 \\ kS^2v^2l \sin\omega \cos\omega = 0, \end{cases}$$

équations dont les seules solutions seraient :

$$1^o \begin{cases} \omega = 0 \\ f = 0. \end{cases}$$

$$2^o \begin{cases} \omega = \frac{\pi}{2} \\ f = 0. \end{cases}$$

La première nous montre que le bateau devrait avoir une flottabilité nulle et ne pas se servir de son gouvernail horizontal. C'est là une confirmation nouvelle de ce que nous avons établi déjà au sujet de l'inclinaison nécessaire de l'axe du bateau. Quant à la seconde où $\omega = \frac{\pi}{2}$ nous indiquerait un bateau à axe vertical, elle est évidemment en dehors de la question.

Nous voyons par tout ce qui précède que l'annulation mécanique de la flottabilité f ne s'obtient qu'au prix de la création de tout un système de forces, qui se complique de lui-même de forces étrangères dont chacune fournit un couple de rotation forcément variable, et souvent, suivant une loi inconnue, avec les conditions incessamment changeantes que produit le milieu liquide et mobile dans lequel le sous-marin est immergé et se déplace sous l'influence de ses propulseurs. La somme des moments de ces couples doit demeurer nulle à tous les instants, et il suffit qu'à un moment quelconque, l'un d'eux accuse une prépondérance passagère pour que, aussitôt, l'inclinaison de l'axe change, modifiant ainsi les conditions de l'équilibre, qui se trouve momentanément rompu. Ce sera le

rôle du gouvernail horizontal de rétablir cet équilibre ; mais il ne pourra empêcher que, avant que son action se soit fait sentir, le bateau, en vertu de son obliquité, n'ait eu le temps de piquer une embardée qui sera d'autant plus importante que la vitesse et que l'inclinaison seront plus grandes.

Dans la pratique, l'application d'un seul gouvernail horizontal à l'arrière n'a pas donné de bons résultats; le pendule et le piston hydrostatique où le manomètre fournissait des indications si continuellement variables que ni les régulateurs

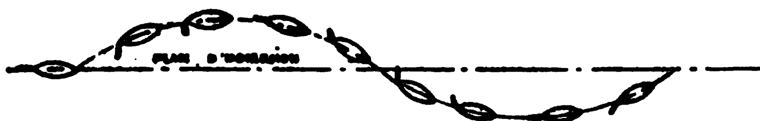


Fig. 31. — Trajectoire d'un bateau sous-marin.

automatiques, ni les appareils à main n'arrivaient à leur procurer le calme indicateur d'une immersion régulière. La trajectoire du sous-marin était alors une sorte de sinusoïde à cheval (*fig.* 31) sur le plan d'immersion, mais dont les arcs consécutifs avaient véritablement des flèches trop grandes, si grandes même que le séjour du bord en devenait intenable.

Ce gouvernail horizontal placé à l'arrière avait cependant donné de très bons résultats avec les torpilles automobiles, qui sont de véritables bateaux sous-marins automatiques à flottabilité positive[1]. Mais nous avons vu que l'angle θ d'inclinaison du bateau était défini par la relation :

$$\sin \theta = \frac{\varphi}{v}.$$

Or, si les torpilles sont des engins à grande vitesse horizontale, les sous-marins proprement dits, au contraire, sont des navires à marche lente ; v est alors assez faible et, pour que φ ou, ce qui revient au même, f soit une grandeur assez importante, l'angle θ grandit dans des proportions normales et, avec

[1] Les torpilles automobiles Ed. Bara et H. Noalhat.

lui, grandissent les embardées en profondeur et en hauteur que l'on cherche à éviter.

Ajoutons enfin, et la remarque est importante, que, si, par suite d'une mauvaise répartition du lest ou pour tout autre cause extérieure ou intérieure, le bateau prend de la bande sur un bord, l'effet normal sur la palette du gouvernail horizontal donne alors une composante horizontale perpendiculaire au plan de symétrie longitudinal du navire, composante qui a pour effet de modifier sa direction dans le plan horizontal.

Supposons, en effet, le gouvernail incliné vers le bas et le bateau penché sur la bande à tribord (*fig.* 32); l'effort normal F, sur la palette du gouvernail, donnera la composante verticale f_1, que nous avons évaluée, et une force horizontale f_2 tendant à faire virer le bateau vers babord. Donc, si un sous-marin plonge ou navigue sous son plan d'immersion et donne de la bande sur un bord, il dérive en même temps sur le bord opposé.

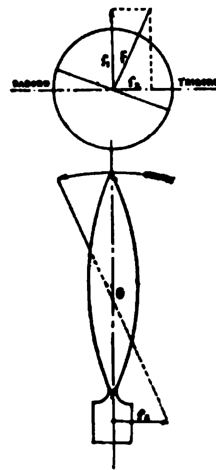


Fig. 32.

Si la palette du gouvernail était inclinée vers le haut, il arriverait, au contraire, que le bateau dériverait du côté où il donne de la bande.

De là des lacets inconnus dans le plan horizontal qui rendraient la route du navire très incertaine. Il ne faut pas songer cependant à mettre encore devant l'homme de barre une aiguille à roulis qui lui indiquerait d'agir sur le gouvernail vertical pour rétablir la route, ce serait le charger d'un travail absorbant et inutile, car il serait impuissant à réagir à temps et de la quantité voulue, et se fatiguerait, outre mesure, sans profit pour la bonne réalisation de sa tâche[1].

[1] On pourrait également corriger ce défaut à l'aide d'un gouvernail double vertical. Ce gouvernail se composerait en principe de deux palettes disposées l'une au-dessus du gouvernail horizontal, l'autre en dessous. Un dispositif

Il ne faudrait cependant pas conclure de tout cela que l'immersion ne peut se régler d'une façon convenable d'après le principe d'un gouvernail horizontal, bien au contraire; mais

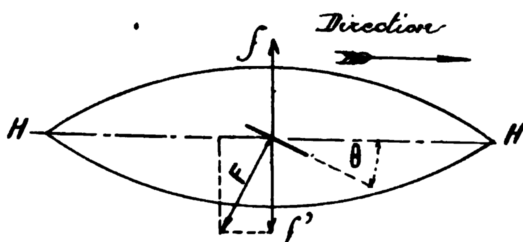


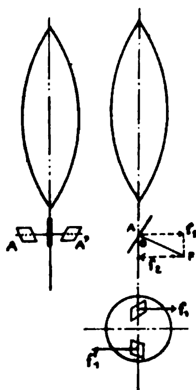
FIG. 33.

il nous faudra déplacer ce gouvernail pour arriver à un résultat meilleur.

En créant, pour annuler la force f, une force ayant le même point d'application qu'elle (*fig.* 33), il est clair que l'on supprime du coup les couples de rotation qui compliquent si étrangement le problème. C'est ce que l'on réalise en plaçant

spécial permettrait de les incliner constamment en sens inverse l'un de l'autre.

Examinons quelle est la réaction de l'eau sur l'une de ces palettes, la palette supérieure, par exemple :


FIG. 34.

Supposons que le bateau donnant de la bande sur babord, on incline la palette comme l'indique la figure 27.

La réaction de l'eau sera normale à cette palette et appliquée à son centre d'action que nous supposerons coïncidant avec son axe de rotation O.

On voit que cette réaction se décompose en deux actions élémentaires, dont l'une f_1 tend à faire rouler le bateau sur tribord et par conséquent à le ramener dans son plan d'immersion normal.

Quant à la force f_2, elle tend à diminuer la vitesse et à baisser l'arrière du bateau.

Il serait facile de démontrer que la réaction sur la palette A', qui est inclinée en sens inverse, donne deux forces f'_1 et f'_2, dont l'une f'_1 se combine avec f_1 pour former le *couple de bande*, et l'autre f'_2 tend à remonter l'arrière du bateau et par conséquent à annuler l'effet de f_2.

Les deux forces f_2 et f'_2 se combinent d'ailleurs pour diminuer la vitesse, mais, comme elles sont très petites à cause du peu d'inclinaison des palettes sur le plan longitudinal vertical, elles deviennent de ce fait à peu près négligeables.

non plus un gouvernail à l'arrière, mais deux palettes-gouver-

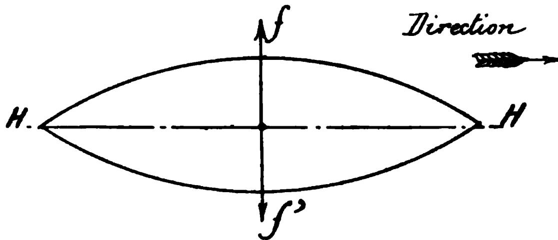


Fig. 35.

nails horizontales symétriques de chaque côté du bateau, à hauteur du centre de carène (*fig.* 35).

On a parlé aussi de deux gouvernails horizontaux, l'un à

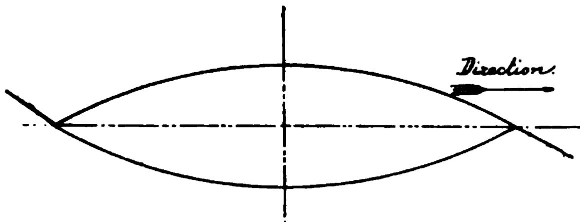


Fig. 36.

l'avant, l'autre à l'arrière, que l'on inclinerait en sens inverse (*fig.* 36).

Il est facile de se rendre compte que cette disposition des

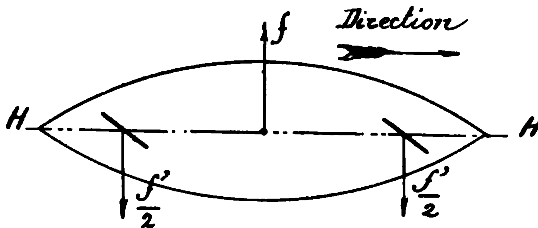


Fig. 37.

gouvernails est impraticable, non seulement à cause des

réactions brutales de l'eau en mouvement venant heurter le gouvernail avant ; mais encore que l'action de ces gouvernails est d'inégale valeur, il se forme des remous derrière le gouvernail avant qui neutralisent en partie son action, ce qui a pour effet de rendre l'action du gouvernail arrière prépondérante.

Cette disposition ne pouvant assurer la plongée horizontale, peut encore moins déterminer la plongée oblique, l'action du gouvernail avant étant neutralisée complètement par l'action du gouvernail arrière.

L'emploi de deux gouvernails, l'un placé à l'avant, l'autre à l'arrière, entraîne l'obligation non pas de les commander en sens contraire, mais de les animer tous les deux d'un mouvement uniforme, et de les incliner tous deux vers le bas lorsque le bateau doit plonger, et de les relever tous les deux pour revenir à la surface.

Cette disposition réduit de moitié environ l'angle θ, d'un seul gouvernail, mais elle présente l'inconvénient de placer le gouvernail avant à la partie la plus exposée du navire et de gêner considérablement l'installation du tube lance-torpilles.

La solution qui semble devoir prévaloir aujourd'hui, d'une façon probablement définitive, consiste à employer quatre palettes-gouvernails que l'on place symétriquement deux par deux vers l'avant et vers l'arrière de chaque côté du navire (*fig.* 37). On arrive ainsi, sur des sous-marins dont le tonnage varie de 30 à près de 300 tonneaux, et où la force de flottabilité a des valeurs comprises entre 15 et 100 kilogrammes, et même parfois un peu supérieures à ce dernier chiffre, à obtenir une route sensiblement horizontale, l'axe du bateau étant incliné seulement de 2 à 5°.

Nous ne doutons pas que l'on obtienne l'horizontalité parfaite, en déterminant expérimentalement la position de l'hélice et des quatre gouvernails horizontaux, leurs dimensions respectives et surtout, par l'étude, la construction et l'emploi d'appareils automatiques spéciaux, réglant d'une façon sûre et précise la stabilité d'immersion.

Nous allons revenir sur cette question de la régulation de l'assiette en plongée dans le chapitre suivant.

* * *

Principe du régulateur d'immersion. — En principe, le régulateur qui actionne le servo-moteur pour la manœuvre d'un gouvernail d'immersion se compose :

1° D'un piston hydrostatique dont nous avons vu précédemment la description ;

2° D'un lourd pendule suspendu à la partie supérieure de la chambre des régulateurs et pouvant subir de légers déplacements en avant ou en arrière, suivant que le bateau s'incline la pointe en bas ou la pointe en haut.

Action du piston hydrostatique seul. — Supposons, comme pour la théorie faite précédemment au sujet de l'immersion par flottabilité nulle, que le bateau soit au-dessus de son plan d'immersion ; le gouvernail que nous supposerons, par hypothèse, relié à la manette du servo-moteur, s'abaissera au-dessous de son cadre si la pression de l'eau est insuffisante pour faire équilibre à la tension du ressort, et le bateau s'inclinera plus profondément (*fig.* 38).

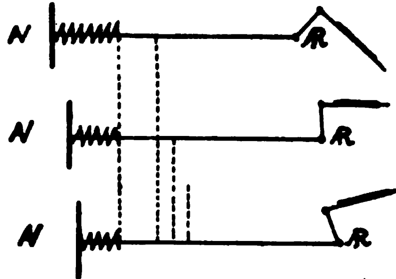


Fig. 38.

Le contraire aurait lieu si le bateau, atteignant une trop grande immersion, la colonne d'eau était prépondérante à la tension du ressort ; le gouvernail s'inclinerait au-dessus de son cadre, le bateau se rapprocherait de son plan d'immersion.

En pratique, on a reconnu que le réglage de ce mécanisme n'est pas suffisamment efficace, il ne corrige les embardées que lorsqu'elles ont commencé à se produire et le bateau passe par bonds successifs au-dessus ou au-dessous de son plan d'immersion.

C'est pour remédier à ce défaut de réglage que l'on a eu recours à un pendule et qu'on accoupla ces deux régulateurs pour diminuer l'amplitude des lacets du bateau dans le plan vertical.

Ce pendule, articulé en Q, reçoit un levier dont le point fixe

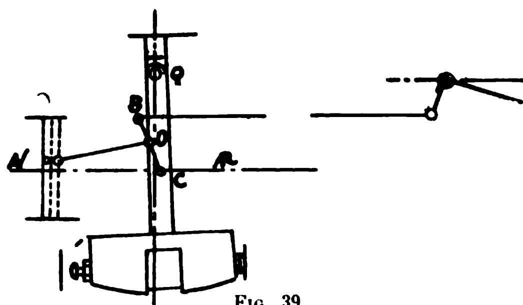


Fig. 39.

est en C ; le piston hydrostatique vient se relier à ce levier par l'intermédiaire d'une tige dont l'articulation est en O ; la

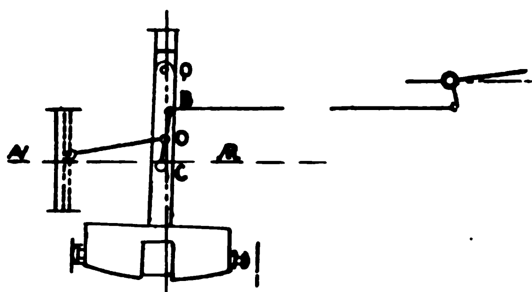


Fig. 40.

tige de commande du gouvernail vient se relier à ce levier en B.

Si nous supposons le bateau au-dessus de son plan d'immersion, la pointe en haut (*fig.* 39), le pendule accentuera l'effet du piston hydrostatique pour faire baisser le gouvernail. Si, au contraire, on incline le bateau la pointe en bas (*fig.* 40), le pendule devient prépondérant sur le piston, et le gouvernail revient en haut, position inverse de celle que le piston seul lui

aurait donnée. Ensuite, le bateau, se rapprochant de sa position horizontale, le pendule redevient vertical, le gouvernail rentre dans le plan de son cadre (*fig.* 41) pour repasser ensuite au dessous, sous l'action du piston hydrostatique. Le bateau

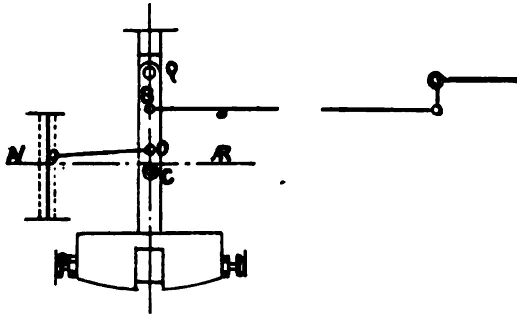


FIG. 41.

subira, de ce fait, une série de mouvements analogues, jusqu'à ce qu'il ait atteint sa position normale d'immersion.

On aurait des résultats semblables, mais de sens contraire, si on considérait le bateau au-dessous de son plan d'immersion et la pointe en bas.

En résumé, les régulateurs agissent :

En sens contraire, quand le bateau tend à s'éloigner de sa position d'immersion ; les régulateurs agissent donc plus énergiquement pour maintenir le bateau dans son plan d'immersion que pour l'y ramener, de sorte que les oscillations à longue période se trouvent considérablement réduites d'amplitude et même pratiquement annulées.

Le rôle du piston hydrostatique est de rectifier l'immersion ; celui du pendule est de rectifier l'horizontalité, et la combinaison de leurs effets assure la régularité des trajectoires.

* * *

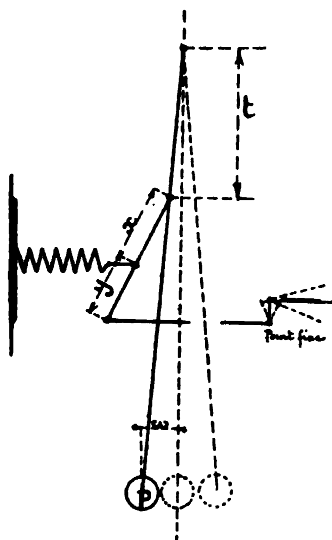
Un mot nous reste à ajouter relativement aux bateaux sous-marins à flottabilité positive.

Dans la théorie du régulateur, exposée au chapitre précé-

dent, nous avons supposé que le gouvernail était manœuvré directement par l'action combinée du mécanisme d'immersion et du mécanisme d'inclinaison.

Dans la pratique, il ne pourrait en être ainsi, car l'effort moteur ainsi obtenu ne serait pas suffisant pour faire équilibre à la résistance de l'eau sur le gouvernail ou que, du moins, cet effort moteur serait de si peu supérieur à la résistance, que la sécurité de fonctionnement ne serait pas suffisante.

En effet, l'effort moteur développé par le piston hydrostatique peut être représenté par l'expression :


Fig. 42.

$$F = SHd,$$

S étant la surface du piston hydrostatique en décimètres carrés ;

H, la hauteur d'immersion en diamètres ;

d, la densité de l'eau de mer.

En appliquant la formule ci-dessus pour une profondeur d'immersion à 2 mètres (20 décimètres), nous aurons un piston d'un décimètre de $0^{dm},75$ (75 millimètres).

$$F = \frac{\pi}{4} \times 0,75^2 \times 20 \times 1,026 = 5^k,989,$$

soit à peu près 6 kilogrammes.

L'effort moteur se réduit encore dans une notable proportion lorsque le piston est couplé avec un pendule dont l'amplitude maxima en dehors de la verticale est très faible (*fig.* 42) ;

Soient :

P, le poids du pendule = 20.000 grammes (20 kilogrammes) ;

ω, l'inclinaison sur la verticale à la distance 1 = 2 millimètres ;

t, le bras de levier du pendule = 135 millimètres ;

x, le bras de levier supérieur de la tige articulée du piston = 20 millimètres ;

y, le bras de levier inférieur de la tige articulée du piston = 15 millimètres ;

Le travail du pendule sera :

$$\mathfrak{T} = \frac{P\omega}{t}$$

et l'effort total sera égal à

$$f = \mathfrak{T} \times \frac{y}{x}.$$

En prenant les données numériques ci-dessus, nous aurons donc :

$$\mathfrak{T} = \frac{20.000 \times 2}{135} = 305 \text{ grammes},$$

$$f = 305 \, \frac{15}{20} = 229 \text{ grammes}.$$

En supprimant 29 grammes pour les frottements, — ce qui est peu, — il ne nous reste un effort utile d'environ 200 grammes.

Examinons maintenant l'effort qu'il faut exercer sur la palette du gouvernail.

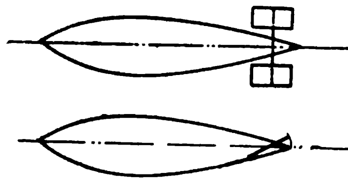


Fig. 43.

Nous avons vu précédemment que ce gouvernail est composé de deux palettes équilibrées, placées horizontalement sur le même axe perpendiculaire à l'axe longitudinal du bateau, comme le représente la figure 43.

Par palette équilibrée, nous entendons une palette rectangulaire, dont la surface active est séparée en deux parties égales[1] par l'axe d'articulation.

[1] En pratique l'axe d'articulation ne doit pas passer par le milieu du gouvernail, car l'action de la demi-partie avant du gouvernail serait prépondérante et tendrait à faire ouvrir l'angle.

Cette disposition a pour but de diminuer le plus possible l'effort nécessaire pour faire osciller la palette autour de son axe O (*fig*. 44).

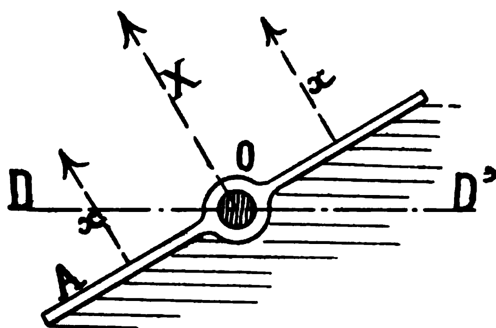


Fig. 44.

En effet, si nous considérons la palette A, inclinée d'une certaine quantité sur la direction DD′ du bateau. Dans le mouvement de translation du bateau, l'eau va venir frapper de la même façon sur toutes les parties de la palette, et la réaction de l'eau sur celle-ci peut se décomposer en deux actions perpendiculaires à la surface de la palette, égales entre elles, et à la même distance de l'axe O, puisque, par hypothèse, la demi-palette de droite est absolument identique à la demi-palette de gauche.

La résultante finale est la réaction X, passant par l'axe O, et égale à la somme des deux autres.

Pour déplacer la palette A autour de l'axe O, il suffira donc de vaincre le frottement que cette réaction X déterminera sur l'axe O.

Cet effort est relativement faible, puisqu'il varie entre 1/10 et 2/10 de X et, de plus, son bras de levier est faible, puisqu'il est égal au rayon de l'axe O.

Les expériences faites sur des gouvernails analogues à celui que nous étudions nous ont permis de déterminer comme suit les dimensions à donner aux palettes (*fig*. 45) :

Longueur des palettes	$1^{m},00$
Largeur —	$0^{m},50$
Surface d'une palette	$50^{d2},00$
— des deux palettes	$100^{d2},00$
Course maxima du rebord arrière au-dessus et au-dessous du cadre	160 millim.

La réaction maxima de l'eau sur la palette correspond à l'inclinaison maxima de cette palette, qui a lieu pour 160 millimètres de course au rebord arrière. L'angle que fait alors

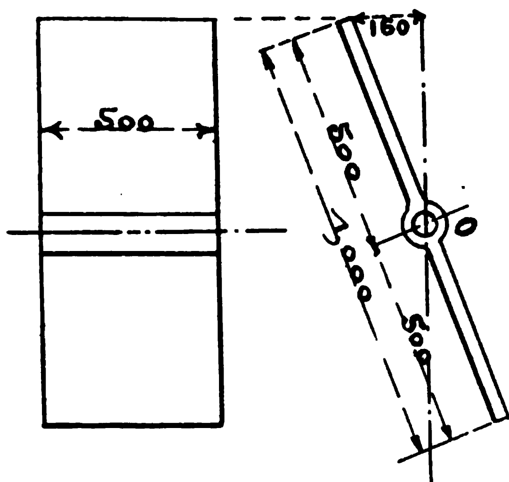


Fig. 45.

la direction de la palette avec celle du cadre est donné par la relation suivante :

$$\frac{x}{360^\circ} = \frac{160}{2\pi \times 500};$$

d'où :

$$x = \frac{360 \times 160}{2\pi \times 500} = 17^\circ,40'.$$

L'effort de l'eau sur le gouvernail est alors donné par la formule :

$$P = \text{effort en kilogrammes} = \zeta \frac{V^2}{2g} S\gamma \sin \alpha,$$

ζ = coefficient = 1,10 ;
V = vitesse de translation du bateau (12 nœuds à l'heure = 6 mètres à la seconde) ;
$2g$ = 19,62 ;
S = surface des deux palettes ;

γ = poids d'un mètre cube d'eau;
Sin α = 0,3035.
On a donc :

$$P = 1{,}10 \times \frac{\overline{6}^2}{19{,}62} \times 1000 \times 1000 \times 0{,}208 = 308 \text{ kilogrammes.}$$

Théoriquement nous n'avons à vaincre que le frottement déterminé sur l'axe par cet effort normal de 220 kilogrammes.

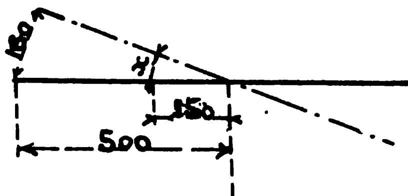


Fig. 46.

Néanmoins nous supposerons que nous avons à vaincre un effort de 220 kilogrammes, appliqué sur un bras de levier pouvant varier de 0 à 150 millimètres. [La plupart des constructeurs placent en effet l'axe de rotation au tiers de la largeur de la palette, de façon à avoir une surface active plus grande.] (*fig.* 40.)

Dans ce dernier cas (bras de levier maximum de 150 millimètres), le chemin parcouru par l'effort de 308 kilogrammes, pour passer du plan de son cadre à l'inclinaison maxima, sera de :

$$\frac{x}{160} = \frac{150}{600};$$

d'où :

$$x = \frac{160 \times 150}{500} = 28 \text{ millimètres.}$$

Par cet aperçu, on voit qu'on est donc amené à prendre l'effort nécessaire à la manœuvre du gouvernail, à la véritable source de force placée dans le bateau, c'est-à-dire aux accumulateurs, et l'on doit alors considérer l'ensemble du régulateur d'immersion comme un dispositif permettant d'actionner le gouvernail au moyen de l'électricité, tout en astreignant ce gouvernail à prendre à chaque instant une inclinaison identique à celle qu'il aurait, s'il était actionné directement par

l'action combinée du mécanisme d'inclinaison et du mécanisme d'immersion.

En effet on pourra envoyer un courant électrique à un commutateur spécial manœuvré par le régulateur d'immersion ; le courant ainsi distribué se rendra ensuite à l'arrière du bateau, dans un récepteur spécial, et c'est ce récepteur qui donnera au gouvernail l'inclinaison voulue.

Nos études nous ayant conduit à étudier un dispositif semblable, nous profiterons de cette circonstance pour en faire la description :

Appareil pour la manœuvre des gouvernails horizontaux système H. Noalhat

Ce moteur serait composé d'un noyau de fer doux autour duquel serait entouré un fil de cuivre isolé.

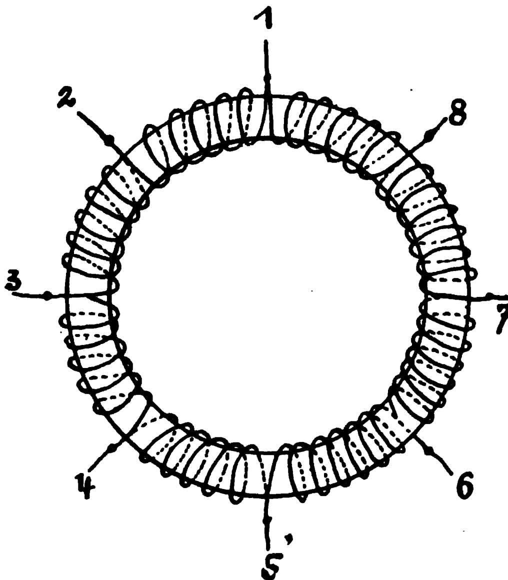


Fig. 48.

Le fil de cuivre isolé serait partagé en huit bobines placées les unes à côté des autres, et l'enroulement du fil serait toujours dans le même sens, de façon que le bout commençant d'une bobine soit relié au bout finissant de la précédente, comme le représente la figure 48.

Le commutateur manœuvré par le régulateur d'immersion permettra d'envoyer le courant électrique à l'un quelconque des fils numérotés 1,

2, 3, 4, 5, etc., et de le faire sortir par celui qui lui est diamétralement opposé.

Supposons, par exemple, que le courant arrive actuellement au fil n° 1 et sorte par le fil 5, le courant arrivant en 1 se partage en deux courants égaux dont l'un parcourt le demi-anneau de gauche et l'autre le demi-anneau de droite. Ces deux courants auront pour résultat d'aimanter le noyau de fer doux de façon à former, en 1, deux pôles de même nom dont la nature dépendra, d'ailleurs, du sens d'enroulement du fil; ces deux pôles seront deux pôles *nord;* par exemple,

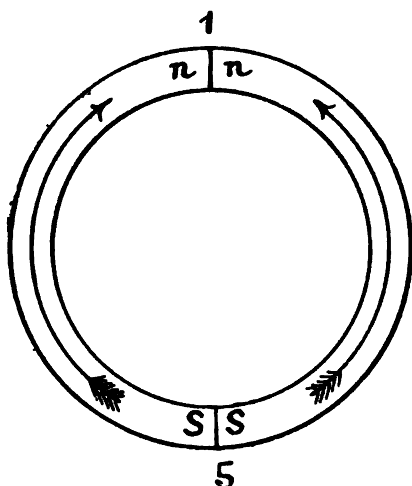


Fig. 49.

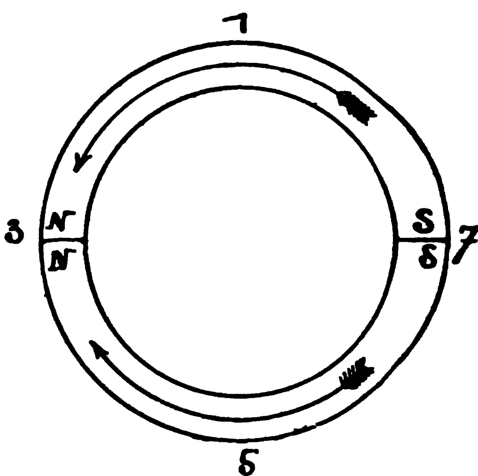


Fig. 50.

il se formera, pour la même raison, en 5, deux pôles de même nom, mais opposés aux précédents, c'est-à-dire deux pôles *sud* (*fig.* 49).

Le flux magnétique tendra alors à circuler comme l'indiquent les deux flèches.

En un mot, le seul fait de faire entrer le courant en 1 et de le faire sortir en 5 transforme l'anneau de fer doux en deux aimants demi-circulaires, opposés par leurs pôles de mêmes noms

Ce que nous venons de démontrer serait vrai encore, si le

courant entrait en 3, par exemple, pour sortir en 7 ; mais, dans ce cas, les pôles seront placés dans l'anneau, comme l'indique la figure 50.

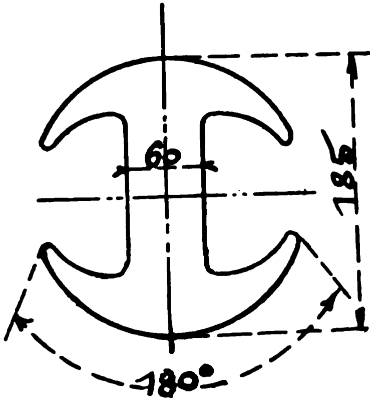


Fig. 51.

On voit donc que l'on peut faire varier la situation des pôles dans le fer de l'anneau et lui faire occuper toutes les positions numérotées, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, en faisant varier simplement le point d'entrée du courant, le point de sortie lui étant toujours diamétralement opposé.

Dans l'intérieur de l'anneau fixe, tel que nous venons de le décrire, nous placerons un barreau de fer doux (*fig.* 51) qui sera toujours aimanté de même façon, au moyen d'un enroulement pris en dérivation sur le courant circulant dans l'anneau fixe ; ce barreau prendra, sous l'influence de ce courant, un pôle *nord* à l'une de ses extrémités et un pôle *sud* à l'autre (*fig.* 52).

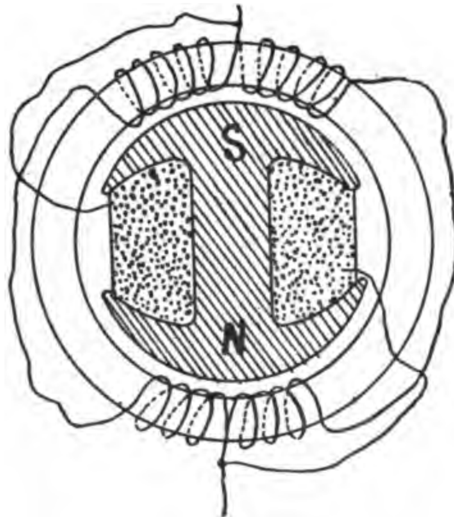


Fig. 52.

Or une loi fondamentale du magnétisme nous apprend que deux pôles de même nom se repoussent et que deux pôles de nom contraire s'attirent.

Supposons maintenant que nous fassions arriver le courant en 1 dans l'anneau fixe et en le faisant sortir en 5 ; immédia-

tement le noyau de fer doux va s'aimanter de façon à avoir deux pôles *nord* en 1 et deux pôles *sud* en 5; et, en vertu du principe énoncé plus haut, les deux pôles *nord* de l'anneau fixe vont attirer le pôle *sud* de l'aimant mobile, pendant que



Fig. 53.

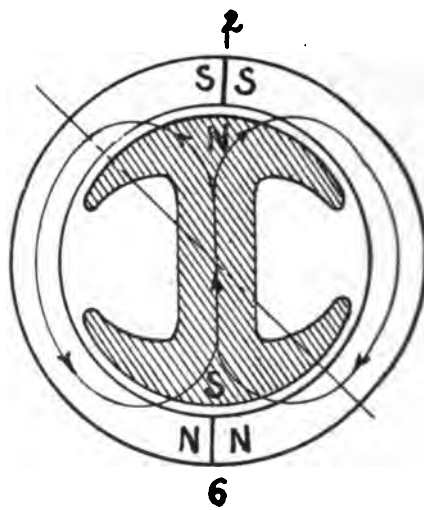


Fig. 54.

le pôle *nord* de celui-ci sera attiré par les deux pôles *sud* de l'anneau fixe.

L'aimant mobile prendra donc la position représentée (*fig.* 53) et le flux magnétique suivra le parcours représenté par les flèches.

De même, si le courant entre en 6, par exemple, pour sortir en 2, tout le système prendra la position représentée (*fig.* 54).

On conçoit donc que, si nous faisons entrer le courant successivement aux points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 1, nous aurons fait faire un tour complet à l'inducteur mobile, dans le sens de rotation indiqué par l'ordre des chiffres; il suffirait, d'ailleurs, de faire entrer le courant aux points 1, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, pour lui faire faire un tour complet en sens inverse.

C'est la rotation de cette pièce mobile que nous emploierons pour la manœuvre du gouvernail.

Pour cela, nous calerons sur l'axe O (*fig.* 55) de cette pièce mobile, un petit pignon d'un diamètre convenable, qui, engrenant avec une crémaillère circulaire, donnera à l'axe M du gouvernail l'inclinaison voulue.

Il convient maintenant de calculer l'effort statique dont on

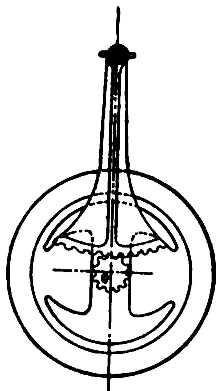


Fig. 55.

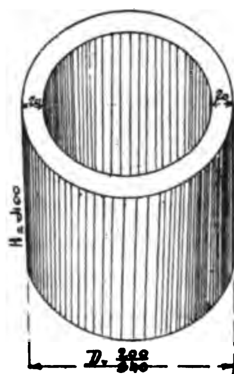


Fig. 56.

peut disposer, afin de nous rendre compte si cet effort satisfait aux conditions imposées.

Nous adopterons les données suivantes :

Diamètre intérieur du fer de l'anneau fixe (*fig.* 56)	200	millim.
Diamètre extérieur du fer de l'anneau fixe.	240	—
Épaisseur — —	20	—
Longueur de la génératrice du cylindre...	400	—
Longueur de l'enroulement de l'anneau...	326	mètres
Diamètre du fil nu	8/10	
Diamètre du fil couvert	1	millim.
Nombre de spires par couche	750	
Nombre de couches	5	
Nombre total de spires	3.750	
Longueur totale du fil utile... $3.750 \times 0,4 =$	1.500	mètres
Fil utile à la production de la force électromotrice	750	mètres
Champ moyen dans l'entrefer	2.200	u. C. G. S.
Flux total.......... $\frac{3,14 \times 20 \times 2.200}{2} =$	484.000	u. C. G. S.

Flux par centimètre carré dans le fer de l'anneau................ $\frac{484.000}{1 \times 7 \times 4} =$ 17.000 environ

Flux par centimètre carré dans l'inducteur mobile.................... $\frac{484.000}{6 \times 7} =$ 11.500 environ

Section du fil de 8/10..................... $0^{mm^2},5$

Courant maximum dans le fil. $0,5 \times 4 =$ 2,5 ampères

Courant total aux bornes de l'anneau : $2 \times 2,5 =$ 5 ampères

Courant dans l'inducteur mobile.......... 1 —

Courant total aux bornes de l'appareil.... 6 —

Détermination du couple moteur

La formule fondamentale de l'induction nous donne :

$$E = \frac{HLV}{10.000};$$

E, force électromotrice ;

H, champ moyen ;

L, longueur utile du fil qui produit E ;

V, vitesse de déplacement de ce fil dans le champ.

Or le travail mécanique d'un moteur est donné par la formule :

$$T = FV = \frac{EI}{9,81} = \frac{HLVI}{10.000 \times 9,81};$$

d'où :

$$F = \frac{HLI}{10.000 \times 9,81}.$$

Appliquons cette formule au moteur que nous étudions, nous aurons :

$$F = \frac{2.200 \times 750 \times 5}{10.000 \times 9,81} = 85 \text{ kilogrammes.}$$

Le chemin parcouru par cet effort pour 1 tour de l'inducteur mobile est :

$$3,14 \times 180 = 590 \text{ millimètres.}$$

L'effort que nous pourrons produire sur le centre d'action du gouvernail, que nous avons supposé être celui qui a une course de 160 millimètres, sera donc :

$$\frac{85 \times 590}{100} = 300 \text{ kilogrammes environ.}$$

Nous avons établi le calcul de cet appareil sur un modèle beaucoup moins grand que ceux dont on se sert dans la pratique. Nous avons tenu cependant à conserver les chiffres trouvés directement dans nos expériences laissant à qui désirerait déterminer les constantes d'un tel appareil pour des dimensions et des forces plus considérables le soin de reprendre des déterminations expérimentales qu'on est obligé de faire chaque fois que l'on modifie un élément de l'ensemble.

Pour se rapporter aux chiffres sur lesquels nous avons basé le calcul de l'effort sur le gouvernail, — chiffres correspondant à des appareils d'un usage pratique courant et non à des outils de laboratoire, — il faudrait prendre un anneau fixe d'un diamètre moyen approchant de 40 centimètres et on arriverait à trouver un effort théorique de près de 500 kilogrammes, ce qui, étant donné le rendement élevé d'une telle machine vaincrait facilement la résistance calculée de 308 kilogrammes.

CHAPITRE III

STABILITÉ D'ASSIETTE TRANSVERSALE

Nous ne rencontrerons pas dans l'étude de la stabilité d'assiette transversale lės mêmes difficultés qu'avec la stabilité longitudinale. Le maintien de l'équilibre sera aussi plus facile à réaliser et les corrections passagères seront bien plus simples et plus précises.

En effet, si nous nous reportons aux principales dimensions données par l'amiral Bourgeois, nous estimons — toutes proportions gardées — que la section au maître-bau n'excédera pas 3 mètres au maximum ; on peut donc conclure qu'un mobile ne pourra se déplacer au-delà de 1^{m},50 à droite ou à gauche du centre de gravité.

En reprenant les données du chapitre précédent, savoir :

I, poids du navire = 350.000 kilogrammes ;

OG = 1^{m},50, la distance à droite ou à gauche du centre de gravité à laquelle on a porté un poids p de 1.500 kilogrammes ;

α, l'angle d'inclinaison produit par le déplacement de ce poids, on aura la relation suivante :

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{p \times AG}{P \times oG}.$$

En remplaçant les lettres par leur valeur, on a :

$$\mathrm{tg}\alpha = \frac{1.500 \times 1,50}{350.000 \times 0,50} = 0,0321 ;$$

d'où :

$$\alpha = 1°,50' \text{ environ.}$$

On voit immédiatement que l'angle d'inclinaison de 4°54' produit par le poids de 1.500 kilogrammes dans la stabilité longitudinale se trouve réduit dans une notable proportion. Nous ferons remarquer, en outre, que, dans ce calcul, nous avons exagéré la distance AG, qui est de 1^{m},50 pour une section de 3 mètres au maître-bau. On peut donc considérer cet angle comme le maximum d'inclinaison qui pourrait avoir lieu entre deux eaux.

Il n'y a donc pas lieu d'établir de dispositifs aussi compliqués que les réservoirs compensateurs relatifs à la stabilité longitudinale. Il est d'autant plus facile de remplir la condition qui nous occupe que l'on dispose à l'aplomb du centre de gravité et à la partie inférieure du bateau de gueuses en fer servant de poids de sûreté, ainsi que les réservoirs d'immersion.

En un mot, la stabilité de poids peut être assurée ; mais il n'en est pas de même de la stabilité de forme, qui fait en général complètement défaut. Pour ce qui est de la marche sous-marine, il n'y a rien à craindre de ce côté ; mais, en marche à la surface, par une mer tant soit peu houleuse, le sous-marin donnera de la bande à droite et à gauche, et roulera sous une inclinaison tellement grande que le séjour à bord sera intenable.

Les ailerons latéraux que M. Goubet a disposés de chaque côté et sur toute la longueur de son bateau, en vue d'aider à la stabilité d'immersion, auraient cette double fonction de pouvoir concourir à atténuer dans une grande proportion ces coups de roulis désordonnés.

Tous les sous-marins devront donc en être munis.

En résumé, la stabilité d'assiette transversale doit être déterminée et assurée pendant la construction. La rupture d'équilibre qui pourrait survenir dans la marche d'un sous-marin ne pourrait provenir que d'un accident, un accumulateur

ou toute autre pièce importante qui viendrait à se détacher pendant une manœuvre.

En ce qui concerne les hélices, nous pensons que les bateaux sous-marins auraient avantage de posséder deux propulseurs.

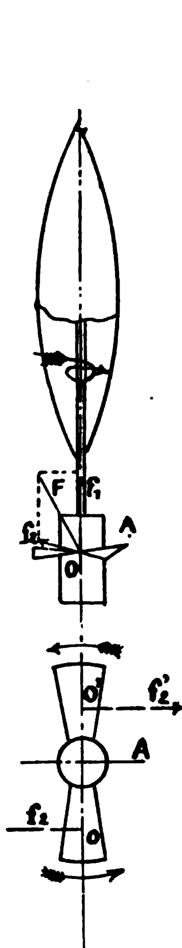


Fig. 57.

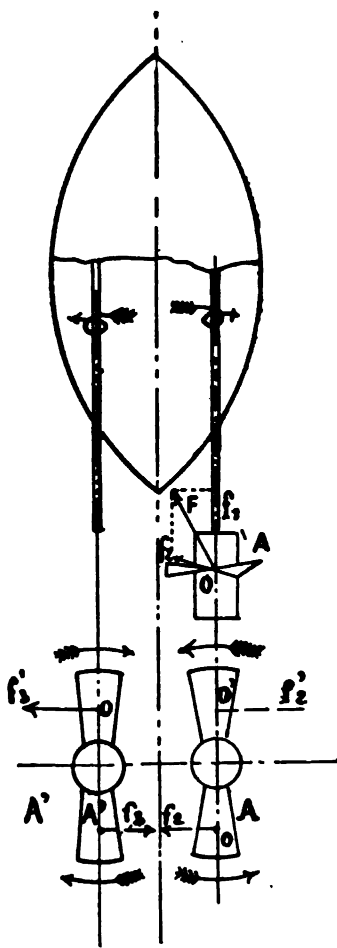


Fig. 58.

En effet, supposons que le bateau tend à donner de la bande du côté opposé au sens du mouvement de son hélice A, comme l'indique la figure 57. Cette hélice tournant dans le sens de la

flèche recevra de la part de l'eau une réaction F normale à sa surface et appliquée à son centre d'action O.

Cette réaction peut d'ailleurs se décomposer en deux actions élémentaires f^1 et f^2, dont la première sert à produire la propulsion, tandis que la seconde, f^2, tend à faire tourner le bateau autour de son axe longitudinal dans le sens opposé, à celui du mouvement de l'aile de l'hélice considérée.

On démontrerait de la même façon que les actions sur l'hélice de gauche A d'un bateau à deux propulseurs (*fig.* 58), sont absolument opposées à celles que nous venons de définir.

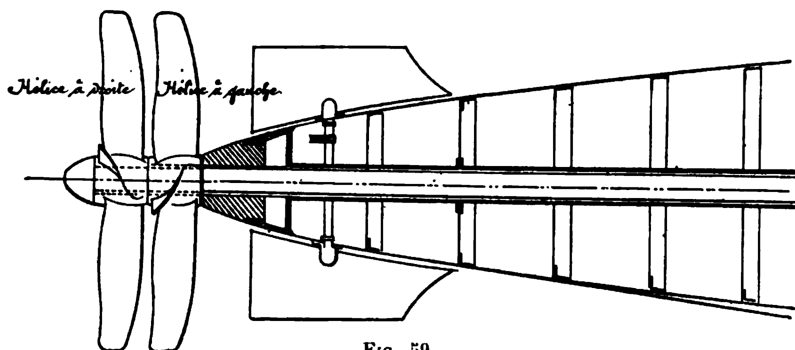


Fig. 59.

Elles auront donc pour effet de les équilibrer en admettant qu'aucune d'elles ne soit prépondérante sur celle qui lui correspond, ce qui, d'ailleurs, doit avoir lieu, puisque les deux hélices sont placées symétriquement et qu'elles ont forcément la même vitesse, puisqu'elles sont reliées rigidement par un train d'engrenages.

Les hélices pourraient être montées également sur un seul arbre (*fig.* 59), comme cela existe déjà pour les torpilles automobiles Whitehead. Ces hélices sont à pas contraire et tournent également en sens contraire l'une de l'autre.

Il n'y a rien autre à dire sur cette question de la stabilité d'assiette transversale qui est d'ailleurs une des moins importantes et une aussi de celles qui, — comme on le voit, — dont la solution est la plus facile.

CHAPITRE IV

ORIENTATION

Nous arrivons enfin à l'une des plus délicates questions de la navigation sous-marine : l'orientation sous l'eau.

Disons de suite que si, par temps clair, au moyen de hublots convenablement disposés à la partie supérieure de la coque on peut, à une profondeur assez faible, réaliser un éclairage intérieur suffisant dans le sous-marin, il ne faudrait pas conclure de là que, par ces mêmes hublots, ou par d'autres placés à l'avant ou sur les côtés, les personnes enfermées dans le bateau pourront voir tous les objets les avoisinant, en particulier distinguer les corps immergés par l'avant du navire. Des études déjà anciennes et fort approfondies ont montré que l'éclairage intérieur des masses d'eau de mer est très faible et que, de plus, la transparence est très imparfaite. Un bateau naviguant par une profondeur d'immersion de 8 à 10 mètres et par un jour très clair a beau maintenir dans le meilleur état de limpidité les vitres de ses hublots, il y voit tout juste et sans netteté absolue dans un rayon de 12 à 15 mètres, autant dire presque qu'il n'y voit pas du tout et que sa myopie est si intense qu'elle frise l'aveuglement complet.

Nous citerons à ce sujet l'extrait d'une étude très intéressante présentée à l'Académie des Sciences, le 27 mai 1890, par M. H. Fol, intitulée : *Observations sur la vision sous-marine.*

L'éclairage au fond de la mer, tel qu'on le voit en descendant en scaphandre, vient uniquement d'en haut. Il ressemble

à celui d'une salle sans fenêtres qui reçoit le jour par un vitrage occupant le milieu du plafond.

La cause de ce phénomène est facile à trouver. Il suffit de regarder en haut par la vitre frontale du casque. L'on voit alors un grand espace circulaire lumineux, dont les limites sous-tendent dans l'œil de l'observateur un angle de 62°50 environ. Au-delà de ce cercle, la surface de l'eau paraît sombre et présente la même nuance que la mer vue de haut en bas depuis le bord d'un bateau. La limite entre la surface lumineuse et celle qui présente une réflexion totale n'est jamais régulière; la moindre ondulation de la surface suffit à y introduire des échancrures et des enclaves qui s'étendent au loin lorsque la mer est agitée.

Les rayons du soleil sont pâles déjà, à quelques mètres de profondeur. Ils se présentent sous forme de chatoiements mobiles produits par la réfraction à la surface des vagues. Dans un appartement situé sur le bord de l'eau et dont les persiennes sont closes, on peut voir, en regardant au plafond, un phénomène très analogue à celui que le scaphandrier voit sur le fond.

Au moment où le soleil descend vers l'horizon, le plongeur, qui se trouve à plus de 10 mètres de profondeur, voit subitement le crépuscule succéder au grand jour. « Il m'est arrivé de remonter, dit M. Fol, croyant à l'arrivée de la nuit et, une fois sorti de l'eau, de me voir avec étonnement inondé par les rayons d'un soleil encore assez éloigné de son coucher. » Cette diminution de l'éclairage, au moment où l'angle d'incidence des rayons solaires ne leur permet plus guère de pénétrer dans l'eau, est très brusque.

La couleur de l'eau de la Méditerranée, le long du littoral, varie beaucoup d'un jour à l'autre, suivant que les courants amènent l'eau pure du large ou l'eau trouble de la côte. Vue horizontalement par la vitre du scaphandrier, elle varie du vert grisâtre au bleu verdâtre. Les objets prennent tous un ton bleuté d'autant plus accentué que l'on descend plus bas. Déjà, à 25 ou 30 mètres, certains animaux d'un rouge sombre tels

que les *Muricæa placonnus* paraissent noirs, tandis que les algues, colorées en vert ou en vert bleu, prennent des teintes qui paraissent plus claires par comparaison. En remontant rapidement à l'air, les yeux, accoutumés à cette lumière bleue, voient en rouge le paysage aérien.

Les rayons rouges sont donc éteints dans une proportion très sensible à une faible profondeur, tandis que les rayons bleus sont moins absorbés par l'eau.

Le degré de transparence de l'eau le long du littoral varie, de même que sa coloration, dans de larges proportions d'un jour à l'autre. Même lorsqu'elle est relativement claire, si le ciel est couvert, l'on y voit si mal à 30 mètres de profondeur qu'il est bien difficile de récolter de petits animaux. Dans la direction horizontale, on ne peut pas, dans ces conditions, distinguer un rocher à plus de 7 ou 8 mètres de distance. Si le soleil brille et que l'eau soit exceptionnellement claire, l'on peut arriver à voir un objet brillant à 20 mètres, parfois même à 25 mètres. Mais, dans les conditions ordinaires, il faut se contenter de la moitié de ce chiffre.

Ces faits, constatés nombre de fois pendant les fréquentes descentes que j'ai exécutées, depuis trois ans, dans le scaphandre dont est muni le laboratoire que j'ai installé à Nice, me paraissent importants à plusieurs points de vue.

D'abord, il est clair que les animaux marins, j'entends ceux qui vivent dans les eaux supérieures et éclairées de la mer, se meuvent comme dans un brouillard. Ils ne peuvent pas éviter les surprises et une vue à longue portée leur serait utile ; aussi voyons-nous que tous ceux d'entre eux qui sont agiles ont l'habitude, lorsqu'on les effraye, de fournir une course effrénée de quelques mètres, et puis de s'arrêter comme s'ils sentaient qu'ils ont dépassé le cercle de vision de leur persécuteur.

Les engins de pêche consacrés par l'expérience seraient inefficaces pour capturer des animaux capables de voir à quelque distance.

Les changements dans la transparence des eaux voisines de

la côte enlèvent toute valeur aux expériences relatives à la pénétration lumineuse, qui ne seraient pas faites très au large.

Mais il est un point pratique sur lequel je crois devoir insister en terminant. Jamais un bateau sous-marin ne pourra se diriger d'après ce qu'il est possible de distinguer à travers l'eau. Pour peu qu'il soit rapide, il ne pourrait pas s'arrêter devant un obstacle qui surgirait subitement dans le cercle restreint de la vision aquatique. Une fois immergé, il ne pourra se guider que sur les directions prises avant de plonger. La navigation sous-marine se trouve resserrée dans d'étroites limites.

Une solution, spécieuse à première vue, avait été rêvée : munir le sous-marin d'un puissant projecteur électrique, qui enverrait par l'avant une gerbe de lumière suffisante pour éclairer la route jusqu'à 50 ou 60 mètres au moins. Il ne faut pas réfléchir bien longtemps pour voir combien cette solution est utopique et même impossible, scientifiquement parlant.

Nous n'insisterons pas sur la difficulté créée d'abord par la nécessité de l'installation à bord des lourds et encombrants appareils générateurs et projecteurs de lumière ; nous allons simplement montrer que, fussent-ils installés, ils seraient parfaitement inutiles et même nuisibles.

On sait, en effet, et chacun en a fait l'expérience, que lorsqu'un faisceau lumineux traverse une masse atmosphérique obscure, ce n'est pas en se mettant dans ce faisceau, ni surtout dans son prolongement, qu'on peut voir les objets qu'il éclaire, mais seulement en prenant position latéralement à une certaine distance, de façon à regarder sans être aveuglé sous un angle assez grand avec la direction du faisceau. Dans le cas qui nous occupe, si un projecteur était placé à l'avant, par exemple, d'un sous-marin, l'équipage de celui-ci, placé dans le prolongement du faisceau, en arrière de la source lumineuse, au lieu d'y voir à quelques mètres seulement, ne verrait plus rien du tout que la lueur blanche projetée, au sein

de laquelle il serait incapable de distinguer un objet quelconque. En revanche, cet éclairage artificiel et violent de la masse intérieure de l'eau ne manquerait pas, au moins par diffusion, de venir rayonner à la surface, de façon à être perceptible pour les navires flottants qui seraient informés de la présence, de la position et de la route du sous-marin, qu'il leur serait dès lors facile d'éviter, leur vitesse, surtout, étant bien supérieure à la sienne.

Nous n'insisterons pas sur cette idée une fois sérieusement émise, mais abandonnée ensuite et avant même la déception d'expériences qui eussent été négatives.

Donc le sous-marin par lui-même n'y voit pas clair *et ne peut pas y voir clair;* il faut donc qu'il s'en passe. Quels vont être alors ses moyens de direction?

Nous en distinguons immédiatement de deux espèces, applicables et appliquées, suivant que le sous-marin navigue à une profondeur assez grande ou qu'il se tient presque à l'affleurement, ne laissant au-dessus de sa coque que quelques décimètres d'eau.

Dans le premier cas, le navire devra aller complètement à l'estime et, ayant pris avant de s'immerger une direction convenable, s'occuper seulement de ne pas dévier de cette direction et de faire route en ligne droite.

La question se pose alors de le munir d'instruments de route aussi parfaits, aussi précis que possible, et sur les indications desquels il puisse absolument compter.

Le premier de ces instruments, dont l'idée se présente d'elle-même est assurément le compas. On a donc muni le sous-marin d'un compas bien réglé et très sensible. Dès le premier essai, cependant, on s'est aperçu que celui-ci ne donnait pas aussi entièrement satisfaction qu'on avait pu l'espérer. Il semblait, — et cela était un peu évident même *a priori*, — ne pas se comporter de la même façon que dans les circonstances où il est employé d'ordinaire.

En fait, le compas d'un sous-marin se trouve placé à l'intérieur d'une coque métallique, fermé de toutes parts et à proxi-

mité d'un moteur électrique et de courants puissants, fort capables peut-être de l'influencer, sinon de le fausser complètement.

Il faut donc redouter, dans la marche d'un tel compas, pour se prémunir contre eux, des troubles anormaux dont les principales causes peuvent être :

1° Les courants produits normalement par le moteur électrique ;

2° Les courants anormaux circulant dans certaines parties inconnues de la coque par suite de défauts d'isolements ;

3° L'aimantation permanente ou passagère de la coque, si celle-ci est faite d'un métal magnétique.

Il y aurait à craindre aussi un affaiblissement de la force directrice ; mais c'est là un point tout spécial et que nous éclaircirons à part.

Il sera facile d'éviter à peu près totalement l'influence des courants réguliers du moteur en équilibrant de façon aussi complète et parfaite que possible les conducteurs d'aller et de retour par rapport au compas. C'est là une précaution qu'on ne manque jamais de prendre dès la construction, et au bon maintien de laquelle on veille de façon constante.

Quant aux courants locaux circulant dans la coque, c'est encore par des précautions de construction et une surveillance attentive et de tous les instants qu'on pourra les éviter, en se gardant de tout contact des générateurs et des conducteurs avec les parties non isolées de la coque elle-même. Toutefois il sera bien difficile d'empêcher absolument la production de ces courants, de même que l'aimantation accidentelle de certaines parties de la coque ; il va donc falloir s'en défendre de son mieux.

Notons en passant que, pour ce qui est d'une aimantation permanente d'une coque en métal magnétique, il sera toujours facile d'en atténuer les effets par une compensation convenable, expérimentalement déterminée. Il en sera autrement quand on envisagera le cas d'une aimantation passagère accidentelle et celui des courants locaux. S'il est possible, en effet, de com-

penser une influence fixe, ou variant suivant un régime régulier et déterminé, toute compensation devient absolument illusoire dans le cas actuel de courants inconnus et essentiellement variables, aussi bien que le magnétisme qu'ils engendrent.

Nous avons donc là un groupe de causes perturbatrices qui échappent à toute correction. Aussi devra-t-on se préoccuper de placer le compas dans des conditions telles que l'effet inconnu de ces causes indéterminées aie toutes chances d'être le moindre possible.

Imaginons un élément m du compas soumis à l'influence d'un élément m' de la coque, et soit r la distance qui les sépare. L'action réciproque de ces deux masses magnétiques sera donnée par la loi de Coulomb :

$$f = \frac{mm'}{r^2}.$$

Cette action sera donc minima lorsque r^2 sera le plus grand possible, ce qui revient à dire, puisque nous ignorons la position de l'élément m', que nous aurons tout avantage à placer le compas au centre de figure du bateau.

Considérons le même élément m du compas influencé par un élément ds parcouru par un courant d'intensité i et dont la direction fait, avec la distance r de m à m', un angle α ; l'action réciproque de ces éléments sera donnée par la formule de Laplace :

$$f = \frac{m^2 \sin \alpha}{r^2} ds.$$

Ce sera ici encore le centre de figure qui apparaîtra comme le point le plus favorable pour l'emplacement du compas. C'étaient là, d'ailleurs, des résultats presque évidents *a priori*, et il semble intuitif d'énoncer, en l'affirmant, que jamais un compas placé notablement en dehors de l'axe ne donnera d'indications satisfaisantes.

On a cependant fait parfois à cette nécessité de placer le

compas au centre de figure une objection, spécieuse même, mais illusoire et fondée sur une connaissance imparfaite des phénomènes magnétiques. En plaçant, disait-on, le compas sur l'axe d'un navire dont la coque est complètement fermée, on le dispose, par ce fait, au centre d'un écran magnétique formé par cette coque, et on lui supprime toute force directrice.

Remarquons d'abord que, si elle était exacte, cette observation subsisterait en un point intérieur quelconque et, par conséquent, dans le sous-marin tout entier, l'aiguille du compas serait indifférente. Mais, en faisant semblable objection, on semble ne pas tenir compte de ce fait que la coque d'un sous-marin est très mince, — 4 à 10 millimètres tout au plus, — et que, par conséquent, sa section donne un cercle de métal magnétique beaucoup trop faible pour absorber au passage le flux total provenant du champ magnétique terrestre. Il y aura, en réalité, une absorption peut-être assez considérable du flux terrestre par le métal de la coque, mais encore le champ magnétique intérieur demeurera-t-il suffisamment intense pour laisser au compas, dans la direction de ses lignes de force, une puissance directrice assez grande pour que l'aiguille, légèrement suspendue et bien équilibrée, donne des indications précises et rapides.

C'est là d'ailleurs un fait largement confirmé par de multiples expériences. En employant, pour ces expériences, des boussoles d'oscillations très sensibles, on a constaté que, à bord d'un sous-marin marchant dans une direction presque perpendiculaire à celle du pôle magnétique, en plaçant la boussole au centre de figure, la durée d'oscillation n'est guère plus grande qu'à terre et loin de toute masse magnétique. A mesure que l'on s'éloigne de l'axe dans une direction quelconque, la durée d'oscillation augmente et, si l'on veut bien se souvenir que la force directrice est en raison inverse des carrés des temps d'oscillation, on verra tout de suite que plus on s'éloigne de l'axe plus le compas devient paresseux, et en même temps plus il est facilement influençable par les causes

perturbatrices, sa force directrice provenant du champ magnétique terrestre décroissant rapidement à mesure que croît la paresse au déplacement.

La démonstration étant faite et le résultat admis que l'emplacement le plus convenable du compas, à bord d'un sous-marin, est le centre de figure et qu'on ne saurait le placer de façon plus défectueuse que vers le haut et au bas de la coque, comme on l'avait mis d'abord sur *le Gymnote*, il faut bien reconnaître cependant que les causes perturbatrices inconnues diminuent et que leur réduction au minimum ne prouve jamais leur disparition complète. De là, la presque nécessité d'adjoindre au compas un autre instrument, si possible, qui lui servirait comme de contrôle et le remplacerait, au cas où l'une des causes de troubles déjà signalées viendrait à prendre tout à coup une importance assez grande, comme dans le cas d'un contact imprévu d'un conducteur avec la coque.

Cette indication complémentaire ou de contrôle, on l'a demandée au *gyroscope*.

Tout le monde connaît cet appareil inventé par Foucault, et qui jouit de la propriété curieuse de garder son axe de rotation invariable dans l'espace, quels que soient les déplacements ou les déformations de son support.

Une très intéressante application du gyroscope avait été faite déjà par M. Howell pour assurer le mouvement et la direction de sa torpille automobile. Dans un sous-marin, le gyroscope ne sera plus un instrument de direction automatique, — il faudrait pour cela un appareil trop lourd et trop encombrant, — mais un repère de direction, par son axe de rotation invariable, que l'on aura avec soin repéré au moment de la plongée.

L'emploi combiné du compas et du gyroscope, dont on tient continuellement les indications en parallèle, a permis d'obtenir une suffisante régularité de direction. Il faut noter cependant que si, sous l'influence d'une cause extérieure, telle qu'une lame, un courant violent prenait le navire par le flanc, celui-ci subit une embardée latérale ayant pour effet de le

transporter hors de sa route pour lui faire prendre une route parallèle à la première, ni le compas ni le gyroscope n'accuseront ce déplacement, et leur fonctionnement continuera à être normal, malgré que le bateau ait quitté, sans que rien l'indique, son plan vertical d'immersion.

La nécessité d'autres moyens de direction devient donc flagrante, et ce ne seraient, cette fois, que des appareils de vision permettant de rectifier et de maintenir la route par l'observation des objets extérieurs et, en particulier, de celui sur lequel se dirige le sous-marin.

Mettons tout de suite de côté le cas où le sous-marin navigue par une profondeur assez considérable; nous verrons que, dans ce cas, il n'y a d'autre moyen de se conduire que les instruments que nous venons d'étudier, et dont il contrôle efficacement les indications, ou les corrige, en revenant de temps en temps à la surface, à l'instar des souffleurs, pour une observation directe et rapide de l'horizon.

Considérons maintenant le cas tout opposé où le sous-marin navigue à la surface, ou au moins en affleurement; nous rentrons alors dans le cas général de la route d'un torpilleur.

La solution qui s'indique et s'impose d'elle-même consiste à munir le bateau d'un dôme ou d'un kiosque, sorte de blockhaus métallique en forme d'observatoire, et muni sur tout son pourtour de hublots permettant d'inspecter l'horizon.

Dans ce dôme, qui devra être aussi élevé que possible, pour permettre au navire lui-même de se tenir sous une couche d'eau assez épaisse pour le mettre à l'abri des projectiles, tout en laissant émerger les hublots supérieurs du kiosque, se tiendra le commandant, qui pourra ainsi guider son navire sans peine et en toute sûreté.

Une question se présente ici, qui semble sérieuse et mérite une discussion. Ce blockhaus, d'une si évidente utilité pour la marche à la surface ou en affleurement, deviendra totalement inutile quand une immersion assez profonde enfoncera sa partie supérieure au-dessous du niveau de l'eau. Il y a lieu de se demander s'il ne viendra pas, pendant la plongée, créer

une résistance nouvelle, capable peut-être de troubler l'équilibre ou, pour le moins, réduire la vitesse. Il y a là seulement un inconvénient apparent, mais à peu près négligeable dans la pratique.

On sait en effet que, pour le moment au moins, la vitesse des sous-marins, pendant la période d'immersion, est très faible, — elle est bien inférieure à leur vitesse à la surface; — par suite, l'excès de force motrice nécessaire pour vaincre la résistance du dôme serait très faible et pourrait être pratiquement négligé, surtout si l'on prend la précaution, — que l'on a garde de jamais oublier, — de donner à cette sorte d'observatoire une forme effilée vers l'avant comme vers l'arrière, de façon à opposer le moins de résistance possible au mouvement dans l'eau.

Il est facile de se rendre compte, d'ailleurs, — et là en est la raison, — que depuis le premier sous-marin connu, aucun inventeur ou constructeur n'a hésité à munir son bateau d'un observatoire rigide, invariablement fixé à la coque et faisant corps avec elle.

Une fois cependant, et il y a très peu d'années, on a voulu se départir de cette règle : c'est à bord du *Gymnote*, puis à bord du *Gustave-Zédé;* pour remplacer le dôme rigide par une sorte de casque mobile susceptible de s'élever et de s'abaisser à volonté, de façon à ne plus présenter la moindre saillie extérieure pendant la marche en immersion complète.

Ce dispositif assez compliqué n'a donné que de fort mauvais résultats, et son emploi a été absolument abandonné au bout de peu de temps.

Nous ne nous y arrêterons pas.

Une solution, qui serait certainement bien meilleure, consisterait dans l'emploi d'un tube rigide en métal qui se déplacerait sous l'action d'un moteur auxiliaire dans un grand presse-étoupes soigneusement construit, et dont on pourrait certainement assurer l'étanchéité.

On n'a jamais essayé, jusqu'ici, de ce tube mobile dans le sens vertical, et la meilleure solution appliquée est encore

celle du kiosque-observatoire fixe et rigide, faisant corps avec la coque. Une nécessité cependant s'impose, qui rend la construction plus difficile, c'est de donner au kiosque la plus grande hauteur possible. Il faut remarquer, en effet, que, dans la navigation d'un sous-marin, et dans les opérations militaires qu'il pourra tenter, il ne faut pas songer à se servir, pour évaluer une distance, d'un instrument quelconque ; cette évaluation devra toujours être faite à l'œil et, malgré toute l'habileté et l'expérience de l'opérateur, il sera nécessaire, pour lui permettre un coup d'œil sûr, de lui donner un commandement en hauteur assez grand au-dessus du niveau de la mer.

Nous ne dirons rien de plus du problème de la vision directe ; les torpilleurs submersibles seuls auront à le résoudre, mais dans d'autres conditions ; pour ce qui est du sous-marin proprement dit, nous aborderons tout de suite le problème, bien plus compliqué, sans doute, mais bien plus intéressant et répondant bien mieux aux exigences de route et surtout de tactique de ces navires ; c'est le problème de la vision indirecte des objets extérieurs pour le navire complètement immergé.

Tout reviendra à déterminer un système optique contenu dans un tube rigide de diamètre assez faible, et glissant dans un presse-étoupes qui permet sa manœuvre de haut en bas. La partie supérieure étant hors de l'eau, on devra, par le bas demeuré à l'intérieur du bateau, voir l'horizon et les objets flottants. Sans aller plus loin, nous voyons tout de suite que ce tube ne pourra pas dépasser une longueur assez faible ; dans la pratique, on n'a trouvé aucun appareil utilisable, quand le sous-marin a plus de 2 à 3 mètres d'eau au-dessus de sa plate-forme. Il est clair, toutefois, que, si un tel appareil existe à bord d'un sous-marin, celui-ci peut, tout en conservant son invisibilité, presque seul le bout d'un petit tube émerge légèrement en conservant aussi son invulnérabilité complète, se diriger sous l'eau comme s'il naviguait à la surface.

Le problème optique qui se pose est alors le suivant :

Ramener la vision de l'horizon et des objets flottants à un point situé plus bas que l'appareil optique lui-même.

L'horizon marin, tel que nous devons le considérer ici, est un panorama circulaire dont le navire considéré occupe le centre. Dans le cas d'un navire ordinaire flottant à la surface, l'observation de ce panorama se fait directement de la passerelle du commandant, en ayant soin de dégager en tous sens les objets susceptibles de gêner ou de troubler la vue. Dans le cas qui nous occupe, l'observateur est placé au-dessous du niveau de la mer, et il s'agit de ramener à la portée de son œil le panorama de cet horizon qui se trouve au-dessus de lui. Mais la question n'apparaît pas simple de reporter ce panorama tout entier en un point situé au-dessous de l'appareil optique au moyen duquel on l'observe. On a donc cherché longtemps à utiliser, pour obtenir ce résultat, le *périscope*, appareil inventé par le commandant Mangin, et perfectionné plus tard par le colonel Laussedat.

Voici quel est le principe de cet appareil :

Imaginons un plan vertical quelconque que nous prenons pour plan de figure, et cherchons comment il sera possible de ramener, en un point F de ce plan, l'image des objets situés dans la région horizontale HH', située plus haut que ce point F.

C'est une propriété générale et caractéristique des coniques que l'égale inclinaison des rayons vecteurs issue des foyers à un point de la courbe sur la tangente en ce point.

Dans le cas d'une parabole, cette propriété se traduit par l'égale inclinaison, sur la tangente, du rayon issu du foyer au contact et de la parallèle à l'axe passant par ce point de contact ; ce qui veut dire, en optique, que tout rayon lumineux parallèle à l'axe sera réfléchi sur la concavité de la courbe, en donnant un rayon passant par le foyer.

Imaginons alors la parabole ayant son axe en Sx et son foyer en F (*fig.* 60), et prenons sur cette parabole un arc mm' situé de part et d'autre du plan HH' ; dans le plan de figure, tout rayon

issu de l'horizon se réfléchira sur l'arc mm' en donnant un rayon passant par F. Si nous faisons maintenant tourner l'arc de parabole mm' autour de la verticale zz' du point F, il est clair que, dans tous les méridiens de la surface de révolution obtenue, le phénomène optique sera le même, et que, si cette surface $mm'm_1m_1'$ est une surface réfléchissante, les rayons issus de tous les points de l'horizon et tombant sur elle vou-

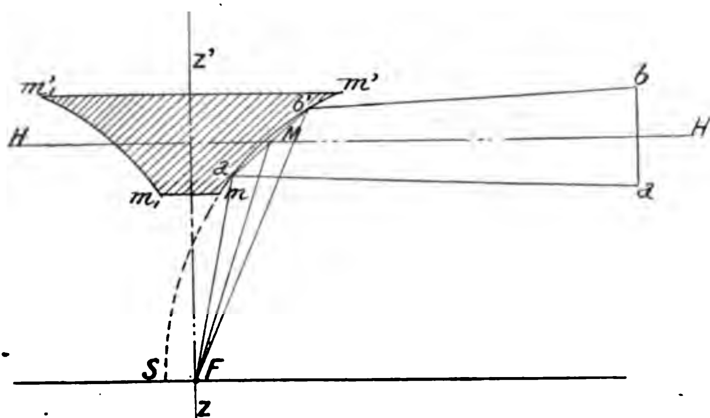


Fig. 60.

dront converger au point F, c'est-à-dire que la réflexion des ondes lumineuses, rencontrant la surface $mm'm_1m_1'$, donnera autour du point F, situé sur un axe, une image panoramique réelle de l'horizon.

Le miroir à employer ici sera donc la partie comprise entre deux parallèles d'une sorte de tore à méridien parabolique dont l'axe de révolution est la perpendiculaire à l'axe menée par le foyer dans le plan de la parabole génératrice. Le miroir ainsi obtenu donnera, pour tout l'horizon, un faisceau de rayons réfléchis convergeant en un point F, qui sera le point de vue.

Ce n'est ici, en somme, qu'une sorte d'extension de ce qui se passe dans les grands télescopes dont le miroir est formé de la portion voisine du sommet d'un paraboloïde de révolu-

tion, et donne à son foyer une image réelle des points situés à l'infini dans la direction de l'axe ; on examine alors cette image au microscope.

Une difficulté ici va s'élever, ce sera celle de la taille d'un semblable miroir, dont la forme est assez compliquée. A la rigueur, elle pourrait se faire comme celle des miroirs de télescopes, par la méthode expérimentale des retouches locales ; mais le travail serait très long et très difficile, et il est préférable de s'en tenir à une approximation absolument suffisante dans la pratique.

Nous remarquerons, en effet, que l'arc *mm'* étant toujours très petit, l'angle des normales *m* et *m'* sera très faible ; dès lors nous pouvons, sans inconvénient appréciable, remplacer, comme cela se fait en toute occasion, l'arc de parabole par l'arc correspondant du cercle osculateur au milieu de *mm'*. Nous n'avons alors à déterminer qu'un élément : le rayon de ce cercle osculateur, c'est-à-dire le *rayon de courbure* de la parabole en ce point M.

Ce rayon de courbure r est, comme on le sait, proportionnel au cube de la normale limitée à l'axe, et le rapport constant est égal au carré de la sous-normale, qui est constante, comme on sait dans la parabole ; nous pouvons donc écrire :

$$\frac{\overline{MP}^3}{r} = \overline{PQ}^2 ;$$

d'où :

$$r = \frac{\overline{MP}^3}{\overline{PQ}^2} ;$$

mais nous avons aussi :

$$PQ = \overline{MP} \cos \widehat{MPQ},$$

mais $\widehat{MPQ}$ est l'angle d'incidence $\widehat{H'MP}$, qui est égal, puisque MP est la normale à $\widehat{FMP}$; le triangle FMP nous donne alors :

$$\widehat{FMP} + \widehat{MPF} \text{ (ou } \widehat{MPQ}) + \widehat{PFM} = 2\pi,$$

et, en appelant θ l'angle $\widehat{PFM}$ qui est une constante de l'appareil[1] :

$$2\widehat{MPQ} + \theta = \pi;$$

d'où :

$$\widehat{MPQ} = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2},$$

FIG. 61.

nous aurons alors :

$$\overline{MP} = \frac{\overline{MQ}}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2}\right)} = \frac{\overline{MQ}}{\sin\frac{\theta}{2}},$$

et, en appelant h la distance $\overline{MQ}$, qui est, elle aussi, une constante de l'appareil, il vient :

$$r = \frac{h}{\sin^3\frac{\theta}{2}};$$

cette formule donne la valeur de r en fonction de h et de θ.

Dans la pratique, on prend pour constante de l'appareil la

[1] Dans la pratique on définit généralement comme constante de l'appareil non pas, — comme nous l'avons fait ici, — l'angle du rayon recteur avec l'horizon, mais l'angle complémentaire que fait ce rayonnement avec la verticale du foyer. — En réalité d'ailleurs on ne prend même pas de constante angulaire mais deux constantes linéaires que nous définissons plus loin.

hauteur h de MQ et la distance horizontale FQ $= l$; on peut déduire θ pour la relation :

$$\overline{MQ} = \overline{FQ} - tg\theta,$$

d'où :

$$tg\theta = \frac{h}{l};$$

l'angle θ déterminé par la tangente est donc bien déterminé, d'où une bonne détermination de r.

Quant aux dimensions du miroir, elles sont fonctions du champ que l'on veut donner à l'appareil; dans la pratique, on cherche, en général, un champ de 20° à 30°, partagé presque également par le plan de l'horizon; il est bon, toutefois, de tâcher d'obtenir un champ plus grand au-dessus de l'horizon qu'au dessous, et c'est ce qu'on a fait, en général.

Une remarque importante à faire ici est que l'image obtenue par une convergence de rayons qui étaient parallèles avant leur réflexion sera nécessairement rapetissée. C'est là un inconvénient fort grave dans la pratique, et qui va quelquefois jusqu'à rendre l'observation tellement incertaine qu'on ne peut reconnaître sûrement tel ou tel navire passant dans le champ du périscope ; en tout cas, les distances seront difficilement et mal évaluées, surtout si l'on tient compte que le rapetissement de l'image n'est pas rigoureusement le même en tous les points, mais croît légèrement, à mesure que l'on s'éloigne du point central.

On avait proposé, pour parer à cet inconvénient du rapetissement, d'adjoindre au périscope un microscope convenablement approprié et au moyen duquel on examinerait l'image, comme on le fait dans un télescope. Cette solution ne répond en aucune manière à la question; on peut même brutalement dire qu'elle n'a pas le sens commun. Le seul intérêt, en effet, que présente le périscope, et la seule raison qui puisse faire excuser un peu ses défauts, est la production d'une image *panoramique* entièrement observable; dès l'instant qu'on l'examine point par point à la loupe, elle n'a plus de raison d'être,

et il est assurément préférable, surtout sous le rapport de la simplicité et de la commodité de l'appareil, de chercher un système optique donnant l'image nette et en vraie grandeur d'une portion de l'horizon.

C'est ce que l'on a réalisé avec le *tube optique*, plus ancien même que le périscope, et dont nous allons parler avec quelques détails.

Notons, pour en finir avec le périscope, que, dans la pratique, cet appareil n'a pas été réalisé tel que nous venons d'en donner la théorie rapide. Sans entrer dans le détail de construction d'un système aussi illusoire, signalons seulement que, ainsi que cela se fait chaque fois que la chose est possible, la surface réfléchissante a été remplacée par un prisme à réflexion totale d'une forme spéciale. La face réfléchissante du prisme était la surface engendrée par la rotation autour de l'axe vertical zz' par l'arc mm' du cercle osculateur en M à la parabole théorique. Les autres faces mn et $m'n'$ sont engendrées par des arcs de cercle orthogonaux de courbure convenablement calculée. Nous n'insisterons pas davantage sur ces points de détail. Le périscope est un instrument mauvais et compliqué et qui tend à disparaître.

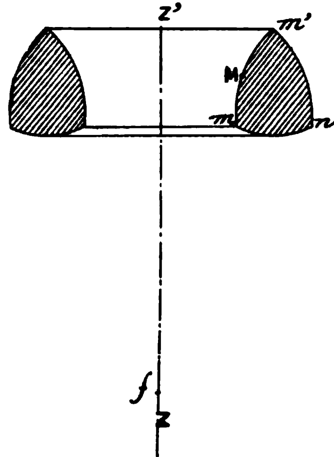


Fig. 62.

Le seul appareil de vision ayant donné jusqu'ici des résultats pratiques à bord des sous-marins est le tube optique.

Le principe du tube optique, formulé d'abord par le major Daudenard, repose sur l'emploi de deux miroirs-plans parallèles, inclinés chacun de 45° sur l'horizon et placés verticalement l'un au-dessous de l'autre, les faces réfléchissantes en regard, et l'un des miroirs étant hors de l'eau, tandis que l'autre est à l'intérieur du sous-marin.

Voyons comment va se comporter un semblable système.

Prenons tout de suite, comme on le fait en réalité, deux prismes à réflexion totale, P et P', placés aux extrémités d'un tube vertical T, dans la position qu'indique la figure.

Le prisme A_1 est hors de l'eau, et le prisme A_2 à l'intérieur du bateau.

Un objet *ab*, situé en A, donnera dans le premier prisme A_1, agissant comme un miroir-plan une image virtuelle *a'b'* située

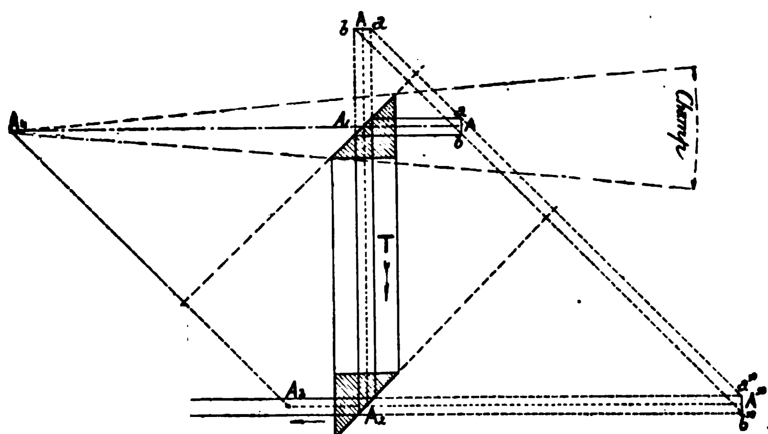


Fig. 63.

en A'. Cette image virtuelle se conduisant vis-à-vis du prisme A_2, comme un objet lumineux réel, donnera en A' une image virtuelle *a"b"* droite et de la grandeur *ab*. Cette image sera visible pour toute la région A_3, située de l'autre côté du prisme A_2. La marche des rayons lumineux A, A_1, A_2, A_3 est indiquée par des flèches.

Notons, en passant, que la distance A_2, A", à laquelle on observe l'image *a"b"*, est évidemment égale à $AA_1 + A_1, A_2$, soit la distance réelle de l'objet augmentée de la longueur du tube optique, longueur absolument négligeable dans la pratique.

Un grave inconvénient de cet appareil est l'étroitesse de son champ. Pour un observateur placé en A_3 et voyant en A" l'image de A, le champ en hauteur sera limité par l'angle mA_4m',

m et m' étant les bords de la surface réfléchissante et A_4 la projection de A_3 sur le plan horizontal de A, faite perpendiculairement à la surface réfléchissante.

Ce champ dépend donc de deux constantes de construction, la largeur du miroir et la longueur du tube. Raccourcir le tube, c'est agrandir le champ ; il y a là deux éléments contradictoires que l'on devra concilier par le meilleur moyen terme expérimental.

Le champ horizontal s'obtient évidemment en menant de A_4 des tangentes aux bords latéraux du miroir.

Le champ d'un tube optique étant restreint, il n'apparaît, pour inspecter l'horizon tout entier, qu'une solution, c'est de faire tourner le tube de façon à viser successivement tous les points de l'horizon, qui défilent successivement dans le champ pendant une rotation de 360°. Il faut avoir soin, d'ailleurs, de faire tourner le tube *tout entier*, et non pas, comme on l'a absurdement fait à bord d'un sous-marin français, laisser fixer le prisme inférieur pour ne pas déranger l'oculaire et faire tourner le tube avec le prisme supérieur. Dans un cas pareil, en effet, pour les objets placés à l'avant seulement, on avait une image directe ; dans toutes les autres directions, l'image était inclinée sur la verticale de l'angle dont avait tourné le tube, si bien qu'un navire, observé par l'arrière, apparaissait renversé, la mâture en bas. On conçoit les difficultés ainsi gratuitement créées à l'observateur, et il n'est nul besoin d'y insister pour en faire sentir toute l'importance.

*
* *

Tel est, à ce jour, l'état de la question de la visibilité extérieure des sous-marins. Résumons-la en deux mots :

1° *Navigation à la surface ou en affleurement :* un blockhaus émerge, d'où le commandant surveille l'horizon et guide son navire ;

2° *Navigation en immersion complète, mais ne dépassant pas 3 mètres d'eau au-dessus de la plate-forme supérieure :*

des appareils de vision dans une direction déterminée (tube optique), ou de vision panoramique (périscope) traversant la paroi supérieure du sous-marin, et allant recueillir, au-dessus du niveau de l'eau, une image qui se transporte par une ou deux réflexions de l'intérieur même du sous-marin et d'après laquelle on se guide, comme dans le cas d'une navigation en affleurement;

3° *Navigation en immersion complète, mais à une profondeur supérieure à 3 mètres d'eau au-dessus de la plate-forme supérieure :* le sous-marin ne voit rien de ce qui se passe sur l'horizon; il se conduit au moyen du compas et du gyroscope, et revient de temps à autre à la surface pour vérifier ou rectifier sa route.

Nous n'ajouterons rien à cette étude rapide; non seulement on peut conclure que le problème de la vision sous-marine n'est résolu que pour le cas d'une immersion très faible, et encore, dans ce cas, ne l'est-il qu'imparfaitement. Quant au cas d'une immersion profonde, le problème n'a pour le moment aucune solution; en aura-t-il une plus tard; peut-être; mais il est permis d'en douter, et il faut croire que c'est seulement par le perfectionnement des instruments de route qu'on améliorera la situation du sous-marin naviguant entre deux eaux, sous une couche épaisse de liquide.

Il y a donc encore beaucoup à faire pour arriver, tant dans la plongée que dans la conduite de la route, sinon à la perfection, au moins à des procédés ne donnant pas et ne pouvant pas donner les déceptions étranges dont jusqu'ici souvent nos sous-marins furent victimes.

Chaque jour, il est vrai, apporte son labeur et son progrès et, selon toute probabilité, nous arriverons, tôt ou tard, à cette solution, non pas parfaite, mais satisfaisante, vers laquelle, depuis des années et presque des siècles, on tend, mais que, depuis quelques mois à peine, on peut le dire, on entrevoit nettement, en acquérant la conception précise des progrès à réaliser et des méthodes à suivre pour y atteindre.

CHAPITRE V

DIRECTION

I

De tous les instruments imaginés par le génie inventif de l'homme pour rectifier sa route au milieu des océans le plus important est sans contredit la boussole.

Cet instrument, merveilleux de simplicité et de précision nous vient de l'Extrême-Orient; les Chinois construisaient déjà, plus de mille ans avant Jésus-Christ, des chars magnétiques indiquant toujours le sud.

Les livres de science des Chinois ne donnent pas la date exacte de l'invention de la boussole marine; mais on voit déjà, dans leurs grands dictionnaires que, vers l'an 300 de notre ère, il y avait déjà des navires qui se dirigeaient au sud au moyen de l'aimant. C'est en se basant sur ces indications que les navigateurs chinois faisaient les grands voyages relatés dans leurs annales du VIIe et du VIIIe siècle.

Ils se servaient, dans ces voyages, de boussoles dont l'aiguille aimantée était soutenue par deux petits roseaux qui nageaient dans un vase plein d'eau.

En France, il est fait mention, pour la première fois, de la boussole dans une pièce satirique datant de 1190.

La boussole fut rapidement perfectionnée dans les marines européennes, et un meilleur mode de suspension permit de faire les observations avec plus de précision.

Pour ce qui est de la navigation sous-marine, cet instrument pourrait rendre de grands services, si son fonctionnement

n'était faussé par diverses influences, telles que les courants d'induction, l'influence de la coque, si cette dernière est un métal magnétique, et les courants électriques. Toutes ces causes contribuent à affoler la boussole et rendre ainsi ces indications inexactes. Aussi est-il très important d'étudier et de mettre en œuvre tous les moyens pour éviter de pareilles perturbations, car il n'est pas possible de trouver un instrument automatique aussi précis.

La coque du *Gustave-Zédé*, construite en bronze Roma, est déjà un indice du progrès fait dans cet ordre d'idées ; de plus, comme nous l'avons dit dans le chapitre précédent, en disposant convenablement les circuits, de nombreuses expériences et la pratique aidant, on pourrait obtenir, à bord d'un sous-marin, une boussole pouvant rendre les mêmes services que dans la navigation ordinaire.

Il a été beaucoup question du gyroscope et de son application à la navigation sous-marine. Malheureusement, comme pour la boussole, cet appareil qui, en théorie, présente de sérieux avantages, est sujet à de nombreux aléas ; il faut en effet le compliquer d'un support, d'un moteur et d'une source d'énergie pour obtenir un mouvement continu. De plus, sa construction demande une précision mathématique.

Nous verrons, du reste, que nous n'exagérons rien, après avoir étudié la théorie et la description de cet appareil, faites par M. Dessaint dans son intéressante étude sur *la navigation sous-marine*.

« Cet appareil, dit-il, est basé sur le principe du gyroscope électrique de la démonstration du mouvement de la terre. »

« Ce gyroscope, le premier en date, a été imaginé, dès 1865, par M. Trouvé, et réalisé par lui à l'instigation de M. Foucault.

« Il se compose d'un tore électromoteur, mobile autour d'un axe d'acier à pointes de rubis, perpendiculaires à son plan, qui occupe le milieu d'une cage formée par une armature en fer et un anneau en cuivre sur lequel il pivote ; cage et tore sont suspendus à une potence par un fil inextensible, au centre d'un anneau portant les degrés du cercle.

« Le tore est composé intérieurement de l'électromoteur ou pignon électro-magnétique à huit branches, qui agit sur l'armature en fer en forme de limaçon.

« Pour donner à ce tore une apparence lisse et métallique, M. Trouvé noie le pignon, muni de son axe et de son commutateur, dans un ciment spécial, le porte au tour pour lui donner la forme d'un tore évidé au centre et l'équilibre d'une façon parfaite.

« Puis, après l'avoir plongé dans un bain de cuivre pendant plusieurs jours, jusqu'à ce que le dépôt du métal ait atteint une épaisseur de quelques millimètres, il le tourne de nouveau et l'équilibre.

« Ce tore tourne avec une vitesse de 300 à 400 tours par seconde.

« Une aiguille indicatrice, faisant partie du système suspendu et immobile, permet d'apprécier chaque degré de déplacement du cercle qui participe au mouvement de la terre.

« Quant au courant électrique, il est amené au tore électromoteur par deux aiguilles de platine isolées entre elles, et plongeant dans le mercure contenu dans deux petites cuves en ébonite circulaires, concentriques et indépendantes, reliées aux deux pôles du générateur d'électricité.

« Dans ces conditions, le gyroscope électrique peut être mis en expérience pendant un temps très long, indéterminé, et plus que suffisant pour qu'un observateur s'aperçoive d'une révolution entière des objets voisins autour de l'instrument.

« Cette révolution serait de vingt-quatre heures aux pôles. »

Voici, d'après le *Dictionnaire des Mathématiques appliquées* de M. Sonnet, les expériences fondamentales que l'on a exécutées avec cet appareil :

M. Quet a démontré, par l'analyse, que lorsqu'un corps est animé d'un mouvement de rotation autour d'un axe dont un point est entraîné dans le mouvement diurne du globe, la direction de l'axe de rotation demeure invariable dans l'espace absolu ; de telle sorte que, pour un observateur, emporté à son insu dans la rotation diurne, cet axe paraîtrait se mouvoir

uniformément autour de l'axe du globe, en sens contraire du mouvement réel de la terre.

Le gyroscope permet de vérifier exactement cette loi, que M. Foucault avait annoncée et formulée.

Le gyroscope étant en marche et complètement libre, on voit l'axe du tore se mouvoir comme une lunette constamment pointée sur une étoile très voisine de l'horizon.

Le mouvement en azimut demeure sensiblement constant pendant la durée de l'expérience, quel que soit l'azimut initial, et égal au mouvement diurne estimé en sens contraire et multiplié par le sinus de la latitude du lieu de l'observation.

Les choses se passent comme si la terre tournait autour de la verticale du lieu, pendant que cette verticale tournerait autour d'une parallèle à la méridienne.

C'est la première de ces deux composantes, prise en sens contraire, qui produit l'apparence du mouvement en azimut[1].

L'axe du tore est contraint à demeurer horizontal, et ne peut plus tourner que dans son plan horizontal par suite du mouvement en azimut de l'anneau-cercle K, représenté sur la figure 64.

M. Foucault, dans ses expériences, place l'axe du tore de façon à ce qu'il soit dirigé à peu près de l'est à l'ouest, l'axe de rotation, entendu d'après les conventions adoptées, étant pointé à l'ouest; c'est-à-dire qu'un observateur placé à l'est de l'appareil et regardant vers l'ouest, verrait le tore tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le cercle K étant libre de se mouvoir, on le verra tourner autour de la verticale, jusqu'à ce que l'axe de révolution du tore vienne se placer dans le plan du méridien en pointant vers le nord.

Il dépasse un peu cette position, mais il y revient pour la dépasser en sens contraire.

[1] L'azimut est l'angle que fait, avec le méridien, le plan déterminé par la verticale du lieu, et par un point donné, une étoile, par exemple.

Dans la marine, on compte les azimuts de 0 à 180°, à partir du sud, et en allant vers l'est ou lo'uest.

En somme, il oscille autour de cette position et finit par s'y fixer.

Par conséquent, l'axe du tore tend à se placer dans le méridien de manière que la rotation soit de même sens que celle du globe.

Cette tendance est due à la rotation du globe, mais elle n'est pas produite par la composante de cette rotation autour de la verticale, comme on pourrait le croire.

Parce que, s'il en était ainsi, il faudrait que l'axe de rotation, ou la direction de la résultante puisse venir se placer dans l'angle formé par l'axe du tore et par la verticale, ce qui est absolument impossible puisque cet axe est contraint de faire un angle droit avec la verticale.

C'est, au contraire, la rotation composante autour de la méridienne qui produit l'effet observé.

De ce fait, l'axe du tore ne devient stable que si cet axe est dirigé vers le nord ; car, dans ce cas, le sens de rotation est le même que celui du globe.

M. Foucault a formulé le résultat général de cette expérience dans ce qui suit :

« Tout corps, tournant autour d'un axe libre de se diriger sans sortir du plan horizontal, fournit un nouveau signe de la rotation de la terre ; car cette rotation développe une force directrice qui sollicite l'axe du corps vers le méridien, et dispose ce corps pour tourner dans le même sens que le globe. Par conséquent, sans le secours d'aucune observation astronomique, la rotation d'un corps à la surface de la terre suffit à indiquer le plan du méridien. »

Dans une autre expérience, faite par M. Foucault, il démontra un autre phénomène important.

Le plan du méridien étant connu, le tore est placé dans l'intérieur du cercle K rendu immobile de façon à rester dans le même plan vertical.

L'expérimentateur place l'axe du tore horizontalement, de manière que l'axe de sa rotation pointe vers le nord.

L'appareil étant abandonné à lui-même, on voit son axe

s'incliner peu à peu jusqu'à ce qu'il devienne parallèle à l'axe du globe, l'axe de rotation pointant toujours vers le nord, pour un observateur placé au sud de l'appareil; c'est-à-dire que la rotation du tore est de même sens que celle du globe.

Ce phénomène s'explique par la rotation du globe qui, en se composant avec celle du tore, rapproche la direction de la rotation résultante de la direction de la ligne des pôles.

Comme nous avons déjà vu, l'axe du tore dépasse cette position, pour y revenir par des oscillations successives, et son axe vient se placer dans une position parallèle à l'axe du globe, la rotation se faisant naturellement dans le même sens que celle de la terre; sans cette condition, l'équilibre serait instable.

De cette expérience M. Foucault a conclu et formulé un deuxième principe, qui est celui-ci :

« Tout corps tournant autour d'un axe libre de se diriger sans sortir du méridien jouit de la propriété de s'orienter parallèlement à l'axe du monde, et de manière à tourner dans le même sens que la terre.

« Par conséquent on peut dire que la rotation d'un corps à la surface de la terre suffit à faire connaître la latitude du lieu, le méridien étant connu. »

L'axe du monde est une droite autour de laquelle s'exécute le mouvement de rotation de la terre. Cet axe est, en réalité, mobile dans l'espace.

En somme, le gyroscope n'est qu'un perfectionnement de l'appareil de *Bohnenberger*, qui sert à produire un mouvement analogue à celui auquel est due la précession des équinoxes[1].

On appelle précession des équinoxes, le mouvement lent de celles-ci sur l'écliptique[2], en sens inverse du mouvement réel de la terre, ou du mouvement apparent du soleil.

[1] L'équinoxe est l'époque de l'année où le soleil se trouve dans le plan de l'équateur.

On donne aussi le nom d'équinoxe aux points d'intersection de l'équateur céleste avec l'écliptique.

[2] L'écliptique est le grand cercle de la sphère céleste que le centre du soleil décrit d'occident en orient dans son mouvement propre apparent.

D'après *la Mécanique céleste* de Laplace, ce mouvement est dû à l'action du soleil sur le renflement équatorial. Il est rétrograde autour de l'axe de l'écliptique ; il en résulte que l'équateur, tout en continuant à faire le même angle avec l'écliptique, coupe celui-ci suivant une droite qui tourne elle-même lentement, uniformément, et dans le sens rétrograde, autour de l'axe de l'écliptique ; les extrémités de cette intersection sont les équinoxes.

La précession a été découverte par Hipparque, vers la fin du IIe siècle.

Ce phénomène a plusieurs conséquences : de déplacer le pôle de l'équateur autour du pôle de l'écliptique, ce qui fait varier les distances polaires des étoiles. Ainsi l'étoile polaire était à 20° du pôle, à l'époque des plus anciennes observations ; elle est aujourd'hui à 1° 28′. En 2605, elle n'en sera plus qu'à 26° 30′ ; puis elle s'en éloignera jusqu'à 46, dans l'espace de treize mille ans, pour s'en rapprocher ensuite (*Dictionnaire des Mathématiques appliquées*).

Gyroscope Marin

« Le gyroscope servant à la navigation sous-marine n'est autre que celui que nous avons précédemment décrit, mais modifié dans certaines parties, qui le rendent propre à son nouvel emploi.

« Un petit moteur électrique sur l'axe duquel est monté le tore donne le mouvement à ce dernier.

« L'inducteur est formé par quatre masses en fer, à pôles conséquents.

« L'appareil est invariable dans l'espace et ce sont les objets qui se meuvent par rapport à lui.

« Tout le système, au lieu d'être suspendu à un fil inextensible comme dans le premier, est soutenu au milieu d'une suspension à la Cardan, par un axe terminé en pointes, qui pivotent dans des crapaudines, comme l'axe du tore lui-même.

« La suspension à la Cardan est munie d'un pendule à tige

rigide, fixé sur le prolongement de l'axe du système, et lui donne une verticalité parfaite, malgré les oscillations continuelles du bateau.

« On conçoit, en effet, que les faibles déviations que pourrait subir l'appareil sont d'autant plus petites que le pendule est plus long, puisqu'elles se trouvent réduites dans le rapport de la longueur du pendule au rayon du tore.

« Ainsi constitué, le gyroscope n'a plus à redouter ni le tangage, ni le roulis du bateau. »

L'axe de rotation du gyroscope est absolument invariable dans l'espace ; si on a eu soin de l'orienter dans une position connue, celle-ci devient une ligne de repère parfaite.

Description du gyroscope

Cet appareil, dont la représentation est faite sur la figure, se compose d'un socle A, rectangulaire, en fer, sur lequel sont fixées deux bornes de prise de courant B'C, dont l'une, C, est complètement isolée de toute la masse.

Quatre pieds en fer D, D, fixés au moyen d'écrous, sur le socle, supportent à leur partie supérieure un cercle en cuivre E fixé d'une façon rigide aux pieds D, D, par des écrous.

Aux extrémités d'un même diamètre, le cercle E est traversé par deux petits boulons F, F', dont les bouts sont creusés pour former deux crapaudines, dans lesquelles viennent s'engager les pointes d'un autre cercle en cuivre H.

Ce cercle oscille autour de ces deux pointes, dans un plan horizontal.

Dans un plan perpendiculaire au cercle H, pivote un troisième cercle J, autour de deux pointes identiques aux précédentes dont les crapaudines sont fixées sur le cercle H.

D'après cet agencement, on voit bien que ce n'est autre qu'un joint de Cardan, puisque les deux cercles peuvent osciller dans deux plans différents.

Le cercle J porte à sa partie inférieure une boule en fonte Q,

qui n'a d'autre but que de lester l'appareil et de le maintenir dans une verticalité parfaite.

Ce cercle porte, en outre, une petite cuvette M, que l'on remplit de mercure.

Un quatrième cercle K porte une deuxième cuvette à mercure, L.

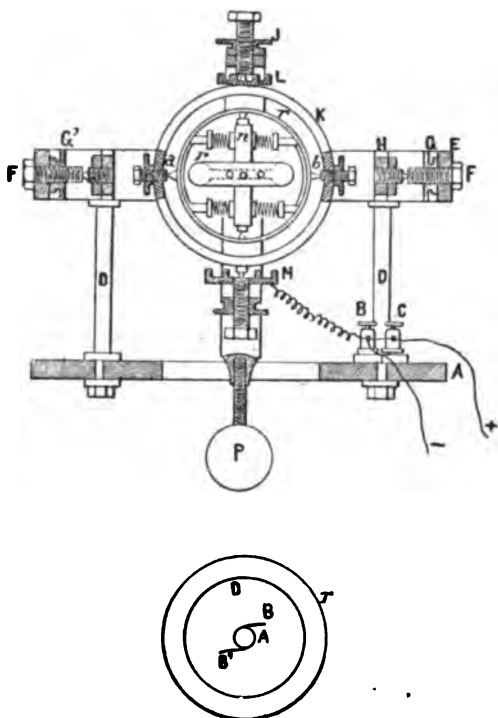


Fig. 64 et 65. — Gyroscope Marin.

Ce cercle oscille, entre le troisième J, autour de deux pointes venant s'engager dans deux crapaudines formées par les deux boulons du cercle J.

D'après cette disposition, le cercle K peut faire un tour complet autour de ses deux pivots.

Un cinquième cercle en fer supporte le tore électromoteur.

Il oscille entre le cercle K, et sur deux pivots.

Le tore, représenté sur la figure 8, est calé sur un arbre R, dont les extrémités forment deux collecteurs.

Deux petits balais B, B″ viennent appuyer sur chacun des collecteurs.

Les inducteurs sont des masses en fer entourées de fil de cuivre.

L'induit est identique à celui des petits moteurs Siemens.

Dans la figure 64, nous avons représenté le tore vu en plan pour donner plus de clarté au dessin.

En marche normale, le cercle P supportant le tore électro-

moteur se meut dans un plan perpendiculaire à celui du cercle K.

Le pourtour du cercle P porte un limbe de cuivre gradué en degrés où vient s'appuyer un index fixé à l'appareil et qui sert à accuser les déplacements de l'appareil.

Pour la mise en marche, on relève tout d'abord le point sur lequel on doit se diriger en amenant le bateau dans cette direction.

On met en marche le moteur électrique en faisant arriver un courant provenant d'un certain nombre d'accumulateurs aux bornes B et C.

En supposant que le pôle positif soit à la borne C, isolée de tout l'appareil ; le courant ira à la cuvette M, et de là communiquera, par une aiguille de platine plongeant dans cette cuvette, aux deux balais positifs du moteur.

Le courant de retour passant par les inducteurs et par toute la masse de l'appareil s'en ira aux accumulateurs par la borne B.

Ceci étant établi et disposant d'une force électromotrice de 20 à 25 volts, le tore se mettra en marche avec une vitesse de 300 à 400 tours à la seconde.

Comme nous avons dit plus haut, l'appareil accusera toujours la même route ; si le bateau s'en écartait, on en serait averti par le déplacement du limbe sous l'index ; il suffirait de ramener l'appareil au point primitif en gouvernant convenablement, et le bateau reprendra sa route primitive. (Dessaint, *la Navigation sous-marine.*)

EXPÉRIENCES FAITES A CHERBOURG AU MOYEN DU TUBE OPTIQUE PAR LE SOUS-MARIN *GOUBET*, LE 19 AVRIL 1890

A diverses reprises, *le Goubet* a fait des expériences publiques, expériences qui ont été rapportées par les journaux les plus répandus. L'extrait qui va suivre est relatif à des

expériences officielles et est dû à la plume d'un collaborateur du *Génie civil*, M. G. Vitoux, venu spécialement à Cherbourg pour suivre les diverses phases de ses expériences.

« Deux séries d'expériences ont été faites le même jour ; le matin, en présence d'officiers, de quelques représentants de la presse parisienne et des rédacteurs des journaux de Cherbourg ; l'après-midi, publiquement et devant environ un millier de personnes, parmi lesquelles on remarquait de nombreux officiers de marine de tous les grades, l'amiral Réveillère, M. Cabart-Denneville, député de Cherbourg, M. le sous-préfet, M. le procureur de la République, M. le commissaire central, etc., etc.

Premières expériences. — Les expériences ont commencé, vers dix heures, dans le fond du bassin du commerce, et ont été exécutées dans une eau assez limpide.

Un petit radeau, mesurant 6 mètres sur 3^{m},50, et mouillé au milieu du bassin, sert de port d'attache au *Goubet*. Les assistants montent à bord de cinq torpilleurs rangés côte à côte et mouillés à quelques mètres de là, tandis que les deux hommes composant l'équipage du *Goubet* entrent dans leur bateau. Bientôt, les amarres étant détachées, on voit *le Goubet* s'éloigner du radeau, et, tout en s'enfonçant avec une lenteur extrême, évoluer en divers sens. Le torpilleur sous-marin, en ce moment, manœuvre uniquement à l'aide de ses deux paires de rames, *dorsale* et *abdominale*, dont le fonctionnement est comparable aux nageoires d'un poisson. D'ailleurs, provisoirement, *le Goubet* a dû retirer son hélice, un ordre administratif lui ayant interdit d'en user dans l'intérieur du bassin du commerce.

Quoi qu'il en soit, après avoir effectué quelques évolutions en différents sens et à des profondeurs variables, *le Goubet* vient se placer, étant au ras de l'eau, à moins de 1 mètre de la rangée des torpilleurs et perpendiculairement à leur axe.

En cet endroit, la profondeur est de 6 mètres d'eau. Les torpilleurs calant environ 1^{m},50, il reste au dessous une hauteur d'eau de 4^{m},50. Sans avancer d'une ligne, *le Goubet* s'immerge

alors lentement, jusqu'au moment où il a atteint la profondeur nécessaire pour pouvoir passer librement sous les bateaux au mouillage, c'est-à-dire jusqu'à environ 3 mètres de la surface du bassin; alors, évitant les chaînes des ancres retenant les torpilleurs, il franchit assez vivement les 15 mètres qu'occupent les cinq bateaux rangés bord à bord, et, son passage accompli, remonte doucement. Il effectue ensuite un virage complet dans un espace moindre que sa longueur, c'est-à-dire moindre que 5 mètres, et, obliquant légèrement en se tenant immergé jusqu'au ras de l'eau, il vient passer entre la chaîne d'amarre de l'un des torpilleurs et l'avant de ce bâtiment, c'est-à-dire dans un espace à peine large de quelques mètres; puis, changeant une nouvelle fois de direction, il vient border doucement le steamer anglais *Saint-Margaret* comme s'il eût dû déposer une torpille le long de ses flancs, et enfin il s'éloigne et regagne son port d'attache.

L'immersion totale du bateau a été d'environ quarante-cinq minutes.

Deuxième série d'expériences. — Les autres expériences ont encore eu lieu dans le bassin du commerce, mais à une petite distance de l'endroit où avaient été faites les premières, vis-à-vis de l'hôtel de l'Amirauté.

Le radeau, remorqué au milieu du bassin, était fixé par quatre ancres. Sur sa face regardant le quai ouest du bassin, une hélice mouillée étant entièrement libre.

Sur le côté du radeau dirigé vers la mer, une perche mobile surmontée d'un drapeau, et qu'un système de contrepoids tendait à maintenir dressée, fut abaissée dans l'eau et maintenue dans cette position au moyen d'un lest attaché par un fil.

Enfin, de distance en distance, dans le bassin, environ à 50 mètres les unes des autres, plusieurs petites bouées-témoins furent immergées par le même procédé. La position de certaines de ces bouées était indiquée par de petits drapeaux qui venaient affleurer à la surface; d'autres, au contraire, étaient entièrement enfoncées au-dessous de la surface.

Cette fois, à la suite de la marée, l'eau, limpide le matin, était devenue trouble et noirâtre.

Cependant, les choses étant ainsi disposées, le bateau *Goubet*, qui était demeuré dans le fond du bassin, arrive, signalant uniquement sa présence aux spectateurs par le point

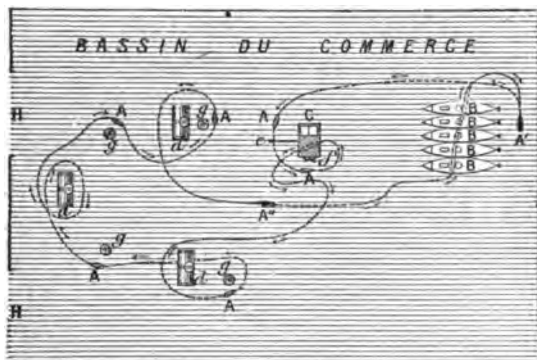


Fig. 66.

Tracé du chemin parcouru (sous l'eau) par *le Goubet*, durant les expériences publiques du 13 avril 1890, à Cherbourg. — A', *le Goubet* stationne devant les cinq torpilleurs B. — C, radeau immobilisé par des ancres. — *d*, *d'*, bouées d'amarrage. — *e*, perche mobile. — *f*, hélice. — *g*, *g*, petites bouées. — H, H, portes ouvertes du bassin communiquant avec la mer. — A, A, A, A, *le Goubet* à différentes profondeurs.
Le double pointillé indique le passage sous les cinq torpilleurs et sous le radeau.

formé par l'extrémité de son tube optique, que l'on voyait émerger de temps à autre.

Tout d'abord, contournant le radeau, le torpilleur coupe avec son sécateur le fil maintenant abaissée la perche mobile, que l'on voit brusquement se dresser. Puis, continuant sa route, il vient au-devant du radeau où il dépose entre les bras de l'hélice une longue tige de fer; il passe ensuite — évitant sans peine les chaînes d'amarrage, malgré leur rapprochement — sous l'eau, où il abandonne une fausse torpille de 102 kilogrammes, et quittant enfin le radeau, il s'en va à la recherche des petites torpilles dont il doit couper les fils.

Successivement *le Goubet* se dirige vers chacune d'elles,

cherchant si bien les fils d'attache qu'il retourne au besoin sur ses pas et recommence son opération, s'il n'a pas réussi au premier abord, les sectionne avec son sécateur, et les bouées, devenues libres, s'en vont à la dérive. Certaines bouées ont ainsi été mises en liberté, le bateau étant en marche.

Au cours de ces évolutions, des boules de verre pouvant servir à renfermer des dépêches ont été envoyées de l'intérieur du torpilleur sous-marin.

Après deux heures et demie d'évolutions diverses, la dernière des bouées ayant été délivrée de ses attaches, *le Goubet* est enfin remonté à la surface ; son capot a été ouvert et ses deux hommes d'équipage se sont montrés, aussi dispos qu'avant l'expérience.

C'est à cet instant qu'a eu lieu le relèvement de l'hélice immergée, comme nous avons dit, dès le début des évolutions sous l'eau.

A son immersion, chacun a pu voir se dresser entre ses branches la barre de fer déposée par le bateau *Goubet*, et, pour bien montrer combien l'entravement était complet, un homme monta sur l'une des palettes et demeura assis, immobile, sans que son poids fît bouger en aucune manière cette hélice, que l'on avait vue, avant son immersion, tourner autour de son axe sous une simple pression de la main.

Telles sont, minutieusement notées, les diverses expériences que le bateau *Goubet* a exécutées sous les yeux de la population de Cherbourg.

Leur intérêt ne saurait être mis en doute ; elles semblent, en effet, prouver d'une manière certaine que le problème de la possibilité pratique de la navigation sous-marine est résolu dans une large mesure (G. Vitoux, *Génie civil*, 19 avril 1890).

APPAREILS OPTIQUES POUR LA NAVIGATION SOUS-MARINE SYSTÈME GATHMANN

L'appareil imaginé par l'ingénieur Gathmann a pour but d'obtenir le plus grand effet utile de la boussole moderne. En

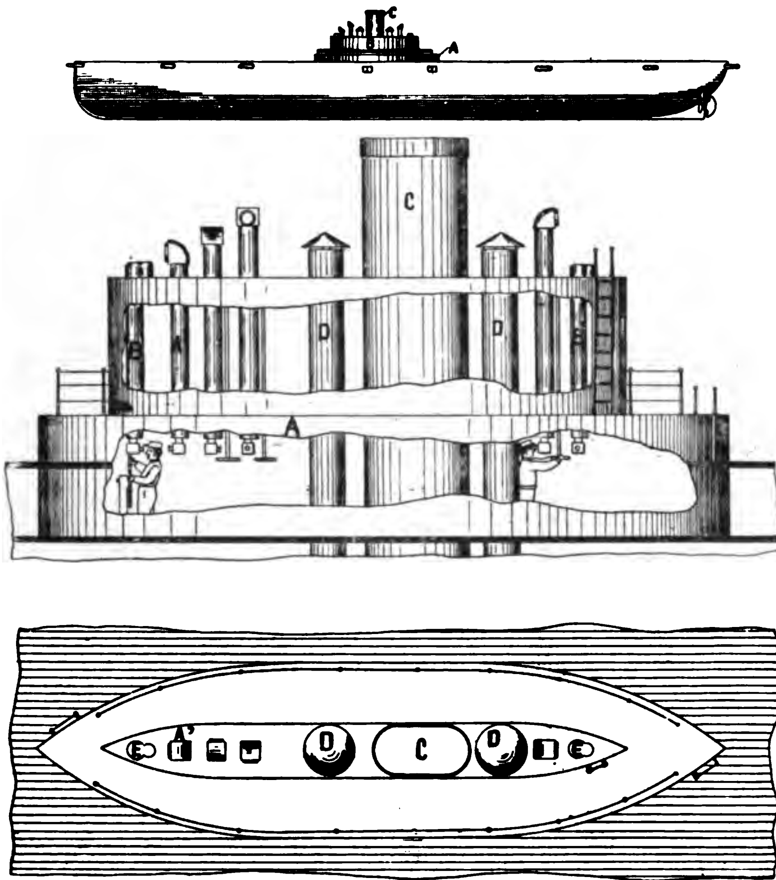


Fig. 67, 68 et 69.

vue de ce résultat, il obtient une liberté relative par les influences magnétiques locales, en produisant alors une bous-

sole sur l'action de laquelle on peut se baser en toute sécurité, particulièrement pour les bateaux submersibles ou sous-marins.

On sait, en général, que la boussole est sujette à faire commettre de grandes erreurs et que son action n'est nullement certaine lorsqu'elle est placée dans un bateau sous-marin au-dessous de la ligne d'eau, ou qu'elle se trouve proche de masses de métal magnétique jusqu'à la rendre inerte. M. Gathmann dispose, en outre, de longues vues qui, en combinaison avec la boussole, donnent au bateau une propriété satisfaisante pour les manœuvres, c'est-à-dire qu'une course quelconque peut se maintenir à l'aide de cette boussole, de même la position d'un objet, soit un navire ennemi, par exemple, peut se déterminer par les longues vues pendant que la plus grande partie ou même toute la coque du bateau est submergée, ce bateau étant ainsi protégé par un corps d'eau et pratiquement assuré par conséquent contre le feu de l'ennemi.

La figure 67 représente la coque d'un bateau submersible, lequel est pourvu, près de la ligne du pont supérieur, de sabords destinés aux canons. Le pont supérieur est surmonté par une tour-vigie, A, représentée en élévation (*fig.* 68). Cette tour est surmontée par une clôture B, qui protège et supporte les boussoles et ses vues télescopiques, de même que la cheminée C et les tuyaux de ventilation. Près des extrémités de la tour de vigie et se projetant par la clôture qui la surmonte, on place de préférence les boussoles dont trois formes sont représentées sur la figure 69.

La boussole est suffisamment élevée au-dessus du pont pour se soustraire à l'influence des masses magnétiques. Afin de supporter la boussole dans cette position élevée, on peut employer des tubes ou des mâts creux E qui, dans la forme représentée sur la figure 71, sont fermés à leurs extrémités supérieures par un chapeau F présentant une chambre latérale agrandie dans laquelle est montée la boussole.

Dans cette chambre, un compas d'habitacle, ou boussole de navire moderne, est monté avec une lumière disposée à proximité et une surface de réflexion H qui traverse la

partie supérieure de la chambre pour réfléchir la boussole, de manière qu'on puisse lire ses déclinaisons au bas du tube.

Dans la partie inférieure de ce tube est disposée la longue-vue I, contenant les lentilles ordinaires J, ou encore une seule lentille. A l'extrémité supérieure dudit tube est disposé un prisme K ; des pièces à œillets L sont placées d'une manière adjacente à ce prisme ; la longue vue est de construction ordinaire et sert à rapprocher ou grossir l'image que réfléchit le miroir, en permettant ainsi à une personne placée dans la tour-vigie de lire facilement les inclinaisons de la boussole, bien que cette tour puisse être entièrement ou en partie submergée.

Dans la construction représentée sur la figure, on emploie une boussole transparente M, laquelle est montée dans l'extrémité supérieure d'un tube ; puis une lampe et son réflecteur N s'emploient pour aider à la lecture des inclinaisons de la boussole, une longue vue est disposée dans la partie inférieure dudit tube, comme dans la construction précédemment décrite. La forme de boussole s'adapte particulièrement aux navires de franc-bord bas et au même genre de navires.

Cette construction est particulièrement destinée à préserver le centre magnétique d'une boussole sur des navires en fer et assurer une plus grande précision à la boussole en mer par tous les temps. La boussole se place dans un tube ou mât creux O, ayant un tourillon P, disposé dans un support R s'élevant le long du pont. Ce tube peut contenir une boussole de la forme représentée sur la figure 71, ou de tout autre forme convenable. Il est pourvu, en outre, d'un prolongement Q et articulé en P; ce dispositif permet de maintenir ce tube dans une position perpendiculaire, quel que puisse être le roulis ou le tangage du navire, évite à la boussole tout mouvement excessif, et par conséquent, toute usure rapide des parties délicates; il assure ainsi à la rose du compas une justesse parfaite.

On remarque que, dans cette construction, l'oculaire est en

ligne avec l'axe du tube oscillant, de sorte que cet oculaire ne change pas sa position lorsque le tube sort de l'alignement avec son montant de support.

Comme complément à la disposition de la boussole relative à un navire submersible, on peut employer des longues vues qui permettent de diriger les canons que porte ce navire vers

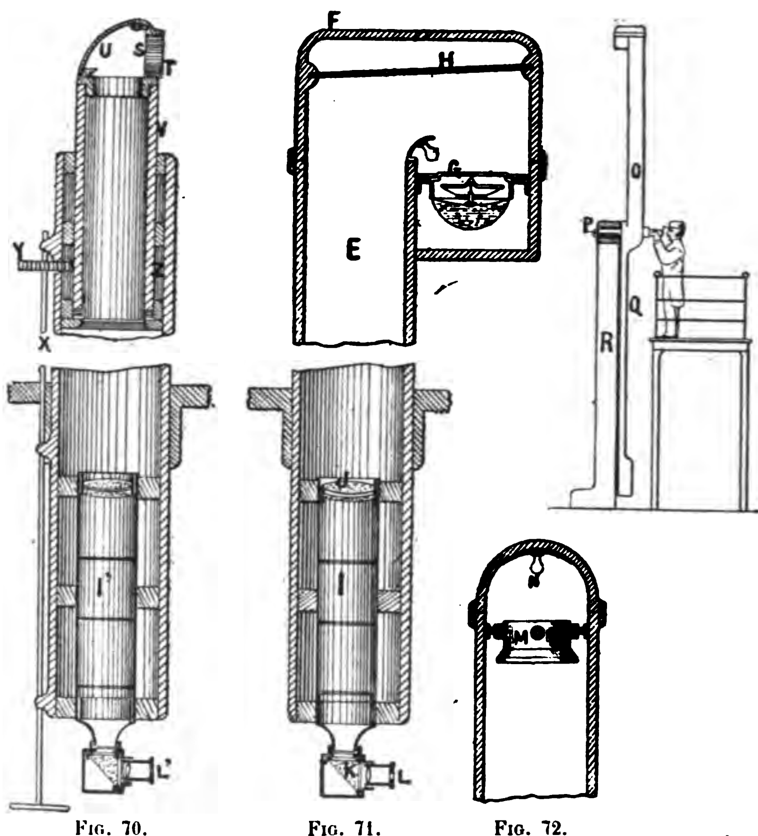


Fig. 70. Fig. 71. Fig. 72.

tout objet à portée, bien que l'artilleur puisse être pratiquement protégé par la submersion partielle du navire. Ces longues vues, qu'on peut employer en toute quantité voulue, peuvent être fixes ou rotatives, suivant qu'on le juge à propos. Il est préférable qu'une ou plusieurs d'entre elles soient dispo-

sées de manière à pouvoir tourner et embrasser l'horizon. La longue vue comprend un prisme S, monté à l'opposé d'un hublot T dans un chapeau U, sur l'extrémité supérieure d'un tube V, puis est actionné par tout dispositif convenable, comme l'arbre X, par exemple, qui est pourvu d'un pignon Y engrenant dans une crémaillère *z* de la périphérie du tube. Ce tube de support descend à proximité de l'endroit où se tient l'artilleur, en ayant dans son extrémité inférieure une longue vue I', qui y est montée avec son oculaire L', à la portée de l'artilleur. L'oculaire peut être pourvu des lignes transversales qu'on emploie ordinairement dans les longues vues.

D'après la figure 68, on voit qu'on a disposé trois longues vues rotatives et une longue vue fixe A'; lorsqu'on emploie une série de ces dispositifs, ils se projettent de préférence à des hauteurs différentes, puis, en les doublant ou en les multipliant, de même qu'en faisant varier ces hauteurs, on prend une mesure partielle en prévision d'un accident ou de l'inaction qui, dans le cas où l'on n'emploie qu'un de ces dispositifs, laisserait le navire sans moyens de défense suffisants. De plus, en employant plusieurs de ces lorgnettes, on peut les disposer de manière qu'elles servent à un canon particulier ou à un groupe de canons, ces derniers étant généralement fixes ou ne commandant qu'un certain cintre.

Direction horizontale automatique d'un canot en submersion (projet Noury père et fils)

Cette direction est donnée par une boussole spéciale à alidade mobile, soigneusement compensée et qui, à chaque écart accidentel de direction sur le cap choisi, agit par un courant électrique sur la fourche de débrayage d'un appareil à friction, analogue à ceux que nous venons de décrire pour la régularisation de la profondeur. Cet appareil, véritable gouverneur automatique, et mû par la machine, met la barre, à babord ou à tribord, à chaque embardée, avec une extrême sen-

sibilité, mieux que ne pourrait le faire le timonier le plus habile. Cet appareil a, du reste, été expérimenté, en 1882, avec

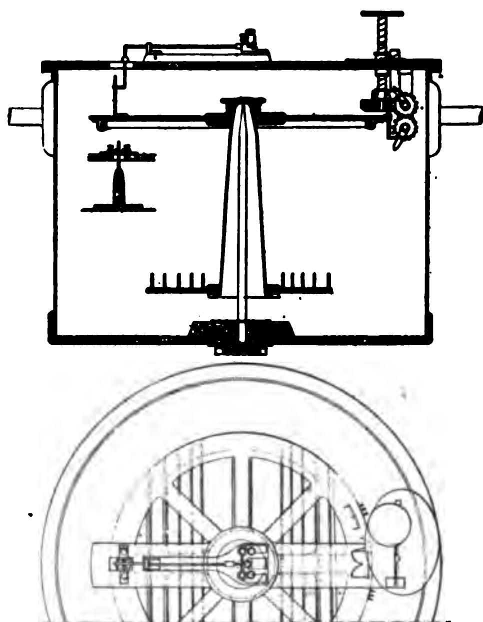


Fig. 73.

le plus grand succès à bord du canot à vapeur du croiseur

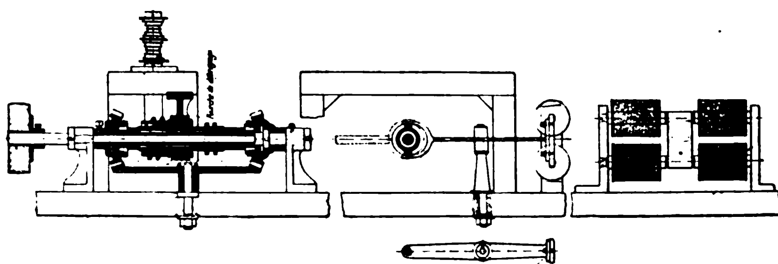


Fig. 74.

grec le *Minoulis*, dans la rade de Phalère, en présence de M. *Jéhenne*, ancien lieutenant de vaisseau.

II

Maintenant que nous avons étudié les principes et les appareils de mesure appliqués à la navigation sous-marine pour indiquer la direction à suivre, nous allons passer en revue les dispositifs employés pour réaliser avantageusement les diverses conditions.

La direction peut s'obtenir de la même façon que pour les bateaux marchant à la surface, au moyen d'un gouvernail à une ou deux palettes verticales. Ces gouvernails peuvent être compensés ou non; ils sont compensés lorsque la tige ou mèche passe par le milieu de la palette; au cas contraire, ils affectent la forme d'un gouvernail ordinaire.

Dans quelques sous-marins, l'étambot se termine sensiblement comme dans les navires ordinaires, et le gouvernail diffère peu ; au contraire, dans les derniers modèles (forme cylindro-conique), les gouvernails se trouvent placés avant l'hélice (*fig.* 75). Dans ce cas, les deux palettes sont fixées sur le même axe, pour être animées du même mouvement; l'une des palettes est à la partie supérieure de la coque, l'autre en dessous; ils sont alors à compensation, et il suffit d'un faible effort tangentiel pour les faire tourner dans un sens ou dans l'autre.

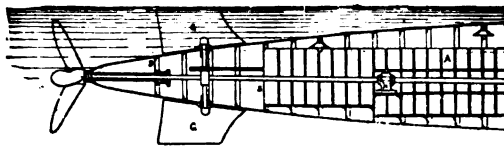


Fig. 75.

Quelques inventeurs ont appliqué à leur bateau sous-marin une hélice mobile dans le plan horizontal de son axe.

Cette hélice permet de donner au bateau une direction oblique dans tous les sens par rapport à l'axe du bateau, tout

en ayant un mouvement régulier de rotation continue. Cette application permet de faire dévier ainsi le bateau sans l'aide d'un gouvernail.

Hélice mobile, système Goubet

Le dispositif qui relie l'arbre moteur à l'arbre de l'hélice (*fig.* 76 et 77) représente l'hélice mobile ; cette commande est telle que l'angle que fait l'arbre de l'hélice avec l'organe

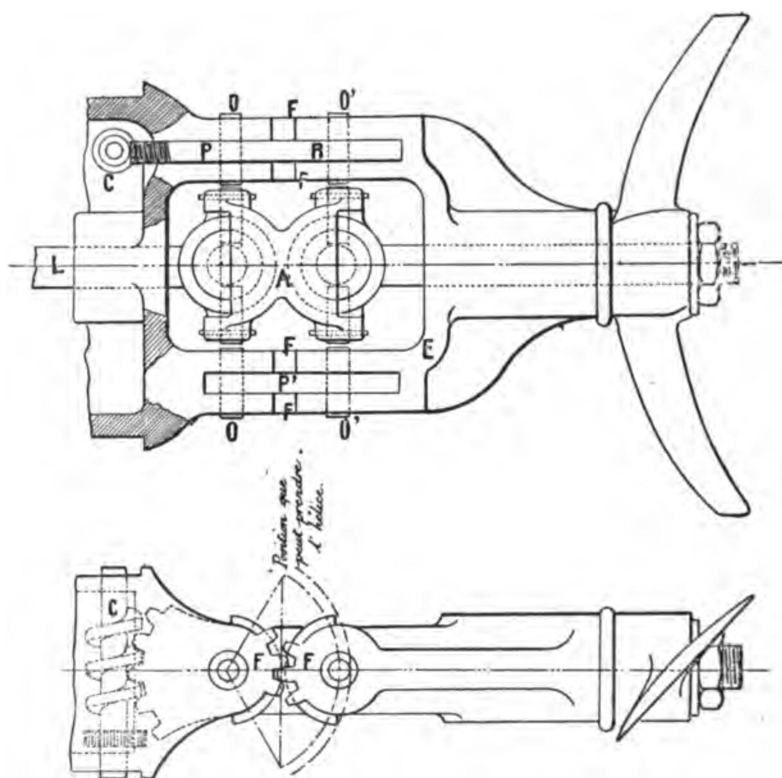


Fig. 76 et 77.

intermédiaire de la transmission est le même que l'angle formé par cet organe intermédiaire et l'arbre moteur.

Les extrémités de l'arbre de l'hélice et de l'arbre moteur portent chacune une sphère.

Ces deux sphères sont enveloppées par une boîte d'accouplement A. L'hélice est soutenue dans le support E articulé à l'arrière du navire.

Ce support est relié à l'étambot du navire au moyen de charnières P, P′, articulées en O sur le support E et en O′ sur l'étambot.

L'une des charnières, P, par exemple, sert non seulement de pièce d'articulation, mais encore elle forme manivelle pour faire dévier l'hélice. A cet effet, cette charnière est dentée sur une de ses faces pour s'engrener avec la vis sans fin C. D'autre part, la partie fixe du gouvernail, qui fait corps avec l'étambot, porte un secteur denté F, qui engrène avec un secteur semblable, solidaire du support E de l'hélice.

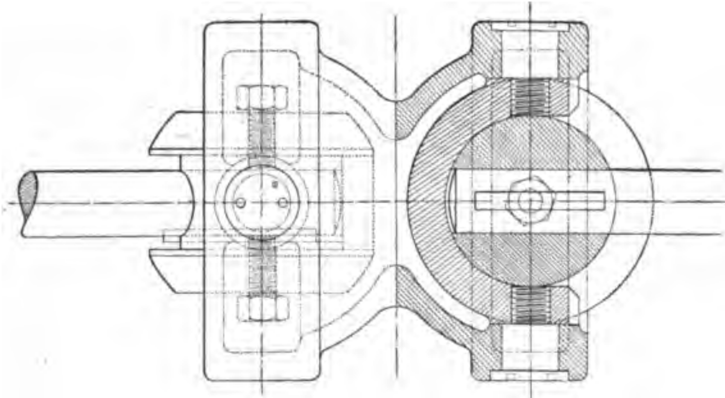


Fig. 78. — Joint Goubet.

En faisant tourner la vis sans fin C, on dévie la charnière-manivelle P, qui entraîne à son tour le support E de l'hélice.

La combinaison des deux secteurs F assure l'égalité de la déviation angulaire de P, par rapport à l'arbre moteur L et l'arbre de l'hélice.

La manœuvre de la vis sans fin pour dévier l'hélice s'opère au moyen du volant T. Il convient de remarquer encore qu'avec ce système l'arbre de la machine ne subit aucun effort longitudinal. La boîte d'accouplement A est enfermée

par une enveloppe qui la met à l'abri du contact de l'eau, et l'hélice tourne toujours en eau vive.

Tout le système de l'hélice que nous venons de décrire est solidaire d'un support S qu'on peut tourner, de sorte que l'hélice peut évoluer dans tous les sens.

L'arbre moteur est brisé dans le manchon d'embrayage mobile R. Le bout de droite porte le manchon d'embrayage R,

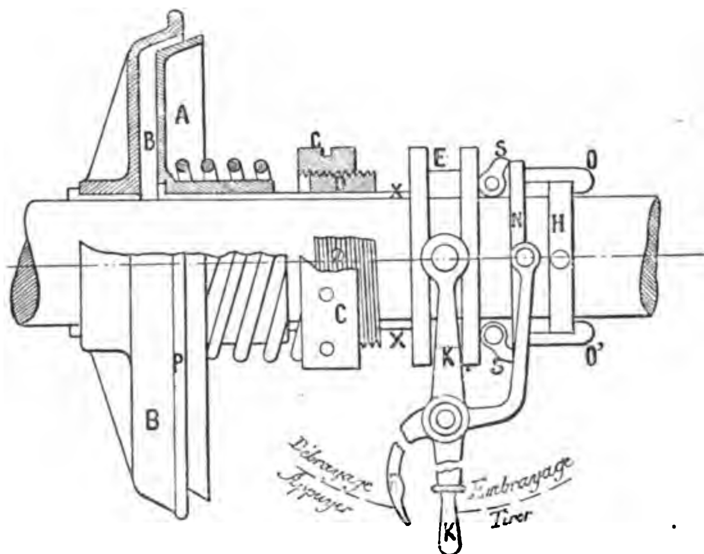


Fig. 79.

lequel est mobile sur une clavette, ainsi que la roue dentée folle, V.

X est une roue clavetée sur l'arbre de gauche, et Y est une roue intermédiaire.

En manœuvrant le levier U, qui agit sur la tringle Z, on peut placer le manchon soit dans une position moyenne (arrêt de l'hélice), soit contre l'une ou l'autre des roues V ou X (marche en avant ou en arrière du bateau).

En résumé, il faut considérer que l'hélice mobile n'a d'action marquée dans la direction que lorsqu'elle est en mouvement, autrement le bateau marche sur son aire ; il est

absolument sans direction, ou, en un mot, comme une épave. C'est sans doute pour cette raison que M. Drzewiecki, l'a abandonnée depuis longtemps.

Quant à celui de M. Baker, il doit évoluer avec une grande facilité au moyen de ses deux hélices latérales. En les rendant indépendantes avec la faculté de les faire tourner dans un sens différent l'une de l'autre, le bateau doit virer de bord dans un rayon très petit.

Cette disposition est très heureuse et serait parfaite en tout point, si elle n'exposait pas les hélices aux abordages.

Influence des hélices et de la vitesse sur la direction

L'influence de l'hélice sur la direction est très grande; en effet l'arrière du bateau a une tendance à se porter sur un bord ou sur l'autre, suivant que l'hélice tourne à droite ou à gauche; c'est, du reste, cette influence qui a motivé l'emploi de deux hélices pour assurer la propulsion rectiligne des torpilles automobiles et annuler ainsi leur influence sur la direction.

Nous avons vu déjà, dans le chapitre relatif à la *stabilité transversale*, l'intérêt qu'il y a de munir les sous-marins de deux propulseurs de même diamètre et de même pas, mais tournant de sens contraire et à la même vitesse angulaire. Les deux influences se neutralisent ainsi l'une par l'autre (*fig.* 59).

Lorsque les bateaux sous-marins naviguent en immersion, l'orientation est difficile ou, tout au moins, incertaine ; il y a donc un grand intérêt à éliminer toutes les causes susceptibles de détruire leur direction initiale.

La longueur du bateau et la vitesse sont deux facteurs capables de maintenir le bateau dans sa direction première. Pour les sous-marins destinés à croiser au large, comme, par exemple, les bateaux autonomes, il est nécessaire d'avoir un rapport, le plus grand possible, du bau à la longueur, afin d'obtenir le maximum de vitesse.

En effet les principales causes qui influent sur la direction

sont : l'action de l'hélice et les courants marins, lesquels sont plus ou moins perpendiculaires à la marche du navire et le drossent par le travers. Quant à l'influence de l'hélice sur la direction, elle diminue au fur et à mesure que la vitesse de translation du bateau augmente. Il en est de même de l'action des courants. Nous en concluons donc que, pour un bateau sous-marin de grande longueur, de grande vitesse, actionné par deux propulseurs tournant en sens contraire et ayant sa barre de gouvernail droite, après avoir été dirigé sur un point, l'on pourrait, à ce moment, abandonner la barre; le sous-marin serait dans des conditions identiques à une torpille automobile bien lancée et ne devrait pas dévier sensiblement de sa direction initiale.

Si le commandant d'un tel bateau disposait d'un appareil lui permettant de contrôler sa route sous-marine, il arriverait facilement et sûrement au but.

Les sous-marins destinés à naviguer à l'entrée des ports, des passes ou dans les bassins doivent être courts et gros; la longueur les gênerait pour évoluer dans des rayons restreints. Ces bateaux, étant destinés à effectuer de faibles parcours, n'ont pas besoin d'avoir une aussi grande sûreté de direction.

CHAPITRE VI

SÉCURITÉ

Les bateaux sous-marins en raison même de leur nature spéciale sont en butte à certains dangers contre lesquels il est nécessaire de les garantir en les munissant d'appareils de sécurité qui pourraient au besoin assurer d'une façon sûre et prompte le sauvetage de l'équipage. C'est, d'ailleurs, l'assurance de cette garantie de vie qui seule peut donner à l'équipage la force morale nécessaire pour exécuter et mener à bonne fin toutes les manœuvres et travaux sous-marins auxquels est astreint un appareil de ce genre.

Les accidents qui peuvent compromettre la sécurité des bateaux sous-marins sont nombreux.

Le premier de ces dangers et le plus grave est l'embardée en profondeur capable d'entraîner le bateau par de trop grands fonds. Dans ce cas, la pression augmente, la coque se déforme, le bateau diminue de volume, la descente s'accentue rapidement, et alors c'est l'écrasement du bateau et la perte certaine de l'équipage.

Il y a donc lieu de construire la coque très solidement, et l'épaisseur du bordé doit être calculée pour résister à une pression beaucoup plus grande que celle qui résulterait de l'immersion prévue et normale. De plus la coque devra être divisée en plusieurs compartiments formés par des cloisons étanches dans lesquelles seront pratiquées des portes de communication à fermeture rapide.

Cette disposition aurait, en outre, le grand avantage d'aug-

menter la résistance de la coque à la pression, laquelle serait alors dans le cas d'un cylindre creux dont l'intérieur serait solidement entretoisé sur toute sa longueur.

Il peut arriver encore que, pour une cause quelconque, — avarie aux machines, introduction imprévue et violente d'eau à l'intérieur, fausse manœuvre des appareils d'immersion, — ou bien encore par suite d'une inclinaison trop grande du bateau, ce dernier ne se mette au plein par des hauts fonds.

Pour parer à ces dangers, il y a lieu de prévoir des appareils d'immersion en double et la faculté de pouvoir chasser l'eau qui se trouve en excès dans les réservoirs d'immersion au moyen de l'air comprimé. En effet il peut arriver que, la pression étant devenue trop forte, les pompes ne puissent plus s'amorcer.

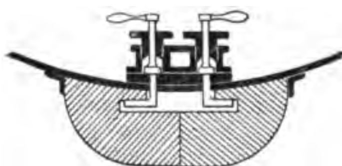


Fig. 80.

La plupart des sous-marins sont encore pourvus d'un poids de sécurité en fonte ou en plomb, d'un poids plus grand, que l'eau emmagasinée dans les réservoirs et en proportion avec la grandeur du navire.

Ce poids (*fig.* 80) est fixé sous la quille du navire par un système de boulons qui permet, en cas d'accident, et par une manœuvre exécutée de l'intérieur, de l'abandonner; le bateau, ainsi allégé, remonte immédiatement à la surface.

Dans le cas d'une voie d'eau, tous les moyens qui concourent à alléger le bateau doivent être employés simultanément : refoulement de l'eau des caisses d'immersion, abandon du poids de sécurité et mise en marche de la pompe de cale, laquelle doit être du plus grand débit possible.

Il y aura intérêt toutefois à n'agir qu'avec circonspection, c'est-à-dire de n'employer les moyens dont on dispose qu'au fur et à mesure des besoins du service.

Il est évident que, si un léger suintement vient à se produire par suite d'un presse-étoupe mal garni, ou de tout autre organe, il serait inutile de larguer le poids de sécurité en

entier. Pour être dans de bonnes conditions, nous conseillons de transformer la quille elle-même du bateau en poids de sécurité.

Cette quille serait divisée en un certain nombre de parties indépendantes, de façon à pouvoir les détacher les unes après les autres jusqu'à la réparation complète de l'accident.

Ce dispositif ne peut mieux être comparé qu'aux sacs de sable dont se servent les aéronautes lorsqu'ils veulent atterrir convenablement.

Nous avons vu que, dans certains sous-marins, l'immersion

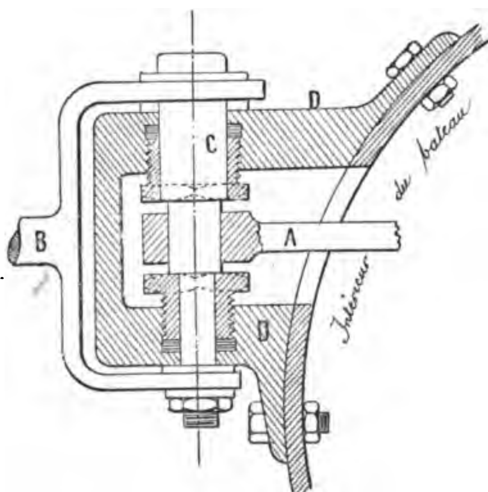


Fig. 81.

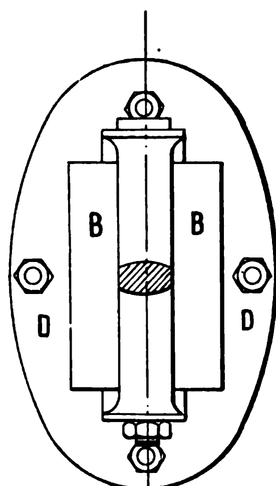


Fig. 82.

peut être obtenue par des hélices verticales, ainsi que les sous-marins Waddington, Howgaard, Nordenfelt, etc.; ces hélices, mises en mouvement dans le sens inverse, contribuent beaucoup à ramener le bateau à la surface.

L'amiral Bourgeois et M. Brun dans *le Plongeur*, Howgaard dans son projet, avaient prévu un canot de sauvetage placé à la partie supérieure de la coque et maintenu par des boulons que l'équipage pouvait desserrer rapidement après s'être introduit dans le canot qui contenait des avirons et des provisions pour un temps assez long.

Il peut arriver encore que les mécanismes de propulsion ne fonctionnent plus ; on peut remédier à cet accident à l'aide de rames, qui, manœuvrées de l'intérieur, peuvent, avec peu d'efforts, actionner le navire et le conduire lentement, il est vrai, mais sûrement au port le plus proche, où il pourra alors réparer ses avaries.

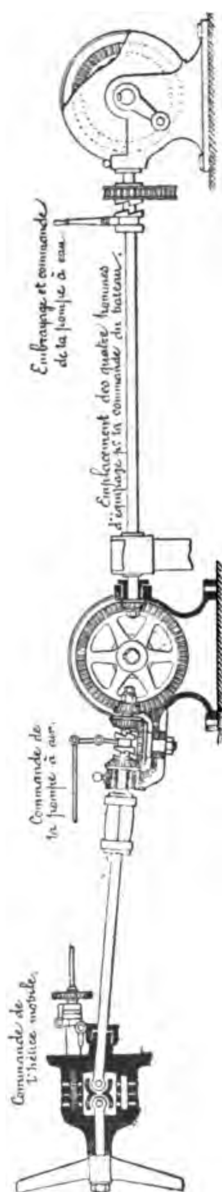


Fig. 83. — Mouvement appliqué par M. Drezewicki à ses petits sous-marins.

M. Goubet, dans son sous-marin, a imaginé un dispositif permettant d'obtenir la propulsion du bateau à bras d'homme par des rames manœuvrées de l'intérieur.

Ces rames sont composées de deux parties distinctes (*fig.* 81 et 82) savoir : la poignée levier A qui aboutit à l'intérieur, et qui est reliée avec la tige B de la rame au moyen d'un axe E passant à travers une chape en bronze D fixée aux flancs du bateau.

La tige D de la fourche présente une rainure dans laquelle viennent se loger des clavettes fixées sur l'axe C.

La palette proprement dite se compose de volets mobiles qui s'appuient l'un sur l'autre au moment du travail sur l'eau et qui s'écartent lorsque la rame vient recommencer son travail de locomotion.

La boîte D, qui est ouverte du côté de l'intérieur, présente deux écrous avec rondelle de caoutchouc formant joint. Ces rames peuvent imprimer au bateau une vitesse maxima de 3 nœuds à l'heure.

Le Goubet n° 2 contient également un dispositif permettant de faire manœuvrer son hélice mobile

par les hommes d'équipage à l'aide de pédales. La figure 83 montre une disposition de ce genre.

Ces dispositifs ne peuvent guère être appliqués que dans des sous-marins de faible tonnage.

Dans les sous-marins autonomes, où l'on dispose de deux forces de propulsion différentes, on peut, en cas d'avarie à l'un des moteurs, manœuvrer avec celui qui reste disponible.

Les chercheurs devront donc porter leurs efforts à trouver les moyens pratiques de munir les sous-marins d'appareils de sauvetage pouvant se loger dans des espaces restreints, tels que des canots pliants, fermés dans un étui et placés à la partie supérieure et extérieure de la coque, et, en général, prévoir tout ce qui peut donner une garantie de sécurité au sous-marin.

On voit par cet aperçu que cette condition n'est pas une des moins importantes pour la navigation sous-marine.

CHAPITRE VII

HABITABILITÉ

On sait que, dans le phénomène de la respiration, l'oxygène de l'air absorbé est remplacé par une quantité à peu près équivalente d'acide carbonique, expulsé par les poumons.

Ce gaz acide carbonique, combiné avec les matières organiques en suspension, provenant soit de la transpiration, soit de la respiration, ne tarde pas, dans un endroit resserré et clos, à vicier complètement l'air respirable.

Examinons donc, d'après la *Chimie* de Troost, l'influence de ces gaz sur la santé des hommes: « ... Si l'air libre a une composition constante, il n'en est plus de même de l'air enfermé dans une enceinte où il ne peut se renouveler. La composition de cet air s'altère rapidement, soit par les combustions, soit par la respiration des animaux. Un homme brûle par la respiration, tant en carbone qu'en hydrogène, l'équivalent de 12 grammes de charbon par heure, ce qui correspond à 22 litres d'acide carbonique, et l'air sortant des poumons contient 4 0/0 d'acide carbonique.

« L'insalubrité de l'air confiné dans les habitations croît comme la proportion d'acide carbonique, et quand cette proportion atteint 1 pour 100 par l'*effet de la respiration*, le séjour des hommes est accompagné d'une sensation de malaise très prononcée; ce malaise n'est pas uniquement dû à la présense de l'acide carbonique; il est dû surtout aux émanations animales qui accompagnent la transpiration pulmonaire

ou cutanée; leur nature n'a pu être déterminée par l'analyse; mais leur présence est accusée par l'odeur désagréable qui se répand dans les salles où un grand nombre de personnes se trouvent rassemblées. Le renouvellement de l'air devient indispensable, et la quantité d'air à fournir par la ventilation pour un homme et par heure est d'environ 10 mètres cubes, si l'on veut que la respiration puisse se prolonger sans difficulté. »

D'après cette définition, on voit que le séjour, dans un sous-marin immergé, d'un nombre déterminé d'hommes, ne pourra avoir qu'une durée très limitée si l'on ne possède aucun moyen d'en renouveler ou d'en purifier l'atmosphère.

Bien que différents moyens chimiques permettent d'absorber l'acide carbonique et de restituer à l'air par exemple par la décomposition de l'eau à l'aide de la pile électrique une quantité équivalente d'oxygène, on n'est pas encore parvenu à épurer complètement l'air et à le débarrasser des matières organiques dont l'influence sur les voies respiratoires et par suite sur la santé de l'équipage est bien plus nuisible encore que l'action de l'acide carbonique.

Selon l'amiral Bourgeois, il n'existerait qu'un seul moyen d'assurer sans danger la respiration de l'équipage d'un sous-marin. Ce serait celui que Fulton aurait employé le premier et qui consiste à embarquer une provision d'air comprimé et à le répandre dans le navire quand le besoin s'en fait sentir. L'air vicié est expulsé soit par une pompe pneumatique, soit même par un simple robinet quand la pression à l'intérieur du sous-marin est en excès sur la pression atmosphérique augmentée du poids de la colonne liquide située au-dessus du tuyau d'évacuation.

Afin de diminuer la quantité des matières organiques exhalées par les hommes de l'équipage, l'amiral Bourgeois préconisait encore l'emploi d'un vêtement imperméable en caoutchouc porté sur les vêtements.

Actuellement on dispose de trois moyens pour obtenir l'aération d'un sous-marin : 1° par l'air ou l'oxygène comprimé dans des réservoirs ; 2° par la purification et la régénération

de l'air vicié au moyen de procédés chimiques; 3° par le retour du bateau à la surface où l'on renouvelle l'air intérieur par des ventilateurs.

Depuis les récentes découvertes, faites dans la composition des aciers du Creusot, dont la force de résistance est pour ainsi dire infinie, on arrive à charger des réservoirs destinés à contenir l'oxygène sous des pressions de 110 atmosphères. Un mécanisme spécial et automatique permet, dès que la pression de l'air respirable tombe au-dessous de la valeur convenable, de répandre l'oxygène selon les besoins de l'équipage.

Ce procédé primitif ne peut guère être appliqué dans un endroit resserré et clos. D'abord l'air comprimé, échappé des réservoirs, produit un abaissement de température dans l'intérieur du navire ; une buée se répand alors sur les vitres des hublots et diminue dans une certaine proportion la clarté intérieure. Il est vrai qu'on ne devra pas s'émotionner quand ce phénomène tout naturel se produira ; cette buée, d'ailleurs, ne tarde pas à se dissiper quand l'air se trouve ramené à la température normale du bateau.

Mais là où réside le grand inconvénient de l'air comprimé c'est quand la pression extérieure est supérieure à celle de l'intérieur. L'air alors ne pourra s'échapper, et l'oppression résultant de l'accroissement de pression que ressentiront les hommes d'équipage sera telle que le séjour à bord deviendra impossible.

De plus, ainsi qu'il résulte des expériences que fit Bauer dans son sous-marin, la brusque détente de l'air, lorsqu'on ouvre les panneaux, produit un effet semblable au bruit d'une explosion ; tout l'équipage ressent une commotion brutale en pleine poitrine. Bauer constata que plusieurs éprouvèrent même douloureusement cette commotion dans toutes les parties du corps.

C'est en raison de la sur-pression que dans les cloches à plongeur les mieux établies et dans les scaphandres les plus perfectionnés, les ouvriers ne peuvent travailler plus de quelques minutes, quand l'immersion atteint 20 mètres.

On est d'ailleurs peu porté à accuser la pression quand le corps entier peut continuer à se mouvoir librement dans un certain espace, mais le corps humain n'en est pas moins le baromètre le plus délicat et le plus sensible quand on veut bien observer ses manifestations.

On éprouve, quand la pression augmente, une sorte de bien-être; la respiration devient plus active et l'esprit d'abord un peu surexcité sent un accroissement d'énergie physique et morale le pénétrer, en même temps qu'une sorte de gaieté un peu voisine de l'ivresse.

Mais ces symptômes sont rapides et passagers et, dès qu'on les ressent, c'est un indice infaillible que le moment est venu de recourir aux pompes de refoulement qui auront bientôt fait de rétablir la pression normale.

Un baromètre à mercure, baromètres enregistreurs spéciaux que construit avec un talent incontesté la maison Richard (Paris) et qui sont à la fois d'une sensibilité parfaite et d'une exactitude indéréglable permettent de constater à tout instant et en chaque point, l'état de la pression intérieure.

Quant à l'emploi de l'oxygène pur on sait combien son emploi est dangereux et nuisible pour la santé des hommes; aussi ce mode d'aération ne devra être employé qu'avec beaucoup de précautions et même, autant que possible, évité.

Le deuxième procédé consiste à faire absorber l'acide carbonique par des matières convenables, telles que la soude caustique, la chaux, le bioxyde de magnésium, etc. Quant à l'acide carbonique en excès que sa densité attire dans la partie inférieure du bateau, il pourra à la rigueur être expulsé à l'aide d'une pompe pneumatique.

C'est l'emploi de ce procédé qui tend à dominer actuellement pour les bateaux sous-marins.

Enfin le troisième mode d'aération qui nous semble le plus simple et le plus rationnel consiste à revenir à la surface à la façon des souffleurs pour renouveler leur provision d'air.

Dans ses nombreuses expériences, Bauer remarqua qu'avec un tuyau d'aller et de retour de 4 pouces de diamètre

l'air se renouvelait à l'intérieur dans l'espace de six minutes et par une pression atmosphérique de un tiers.

On pourrait donc se baser sur ce principe pour installer, suivant un dispositif spécial qui pourrait être formé de tubes à air qui, partant de l'intérieur, déboucheraient à l'extérieur; ces tubes feraient l'office de cheminées ; de plus quelques petits ventilateurs ordinaires, installés sur la partie supérieure de la coque, faciliteraient la rentrée de l'air à l'intérieur.

L'habitabilité du navire est d'autant plus facile à obtenir, que ce dernier est plus grand. En effet, il faudra un équipage relativement et proportionnellement plus faible, pour manœuvrer un sous-marin de 25 mètres de longueur, qu'un sous-marin de 10 mètres, qui exigerait quatre hommes de manœuvre, alors que celui de 25 mètres emploierait à ses manœuvres six hommes seulement. Le sous-marin de 25 mètres pourra donc naviguer beaucoup plus longtemps sous l'eau, l'équipage, ayant un espace beaucoup plus grand et par suite étant bien moins incommodé par la viciation beaucoup plus lente de l'atmosphère.

Avant de terminer ce chapitre, nous ferons remarquer que tous ces dispositifs vont se voir peut-être supplantés par une autre découverte faite récemment par M. Georges Jaubert, qui en garde jusqu'à présent le secret.

En effet M. le Dr Laborde a annoncé à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 24 janvier 1899, que M. Georges Jaubert, ancien préparateur à l'Ecole Polytechnique, s'est posé le problème suivant :

« Un homme étant placé dans un espace hermétiquement clos, lui fournir le moyen pratique de préparer artificiellement l'air respirable dont il a besoin pour vivre... »

Prenant pour base la notion classique, la composition de l'air respirable est de 79 0/0 d'azote et 21 0/0 d'oxygène (bien qu'en réalité elle diffère sensiblement de ces chiffres toute abstraction faite des nouveaux gaz que l'on prétend avoir découverts récemment dans l'atmosphère), M. Jaubert a examiné tout d'abord, dans de l'air vicié par la respiration ou la combus-

tion, et dont l'oxygène avait été comburé, si les 79 0/0 d'azote restaient intacts, et si, par une épuration spéciale éliminant l'acide carbonique et la vapeur d'eau, cet azote mélangé à de l'oxygène pur en quantité convenable pourrait reconstituer le volume d'air normal.

De nombreuses analyses chimiques lui ont démontré que cette hypothèse était exacte en tous points et que l'air vicié par la respiration de l'homme sain, et ensuite épuré, ne contient pas autre chose que de l'azote chimiquement et, comme le dit Tyndall, optiquement pur, en quantité pratiquement égale à la quantité d'azote que contenait l'air, avant son passage dans les poumons; en d'autres termes, l'azote paraît jouer un rôle purement passif dans la fonction respiratoire.

Il résultait de là que, pour la *préparation de l'air artificiel*, il n'était pas nécessaire de se préoccuper de l'azote, cet azote ne servant que de diluant et pouvant resservir, comme tel, indéfiniment.

Restait la question la plus importante, celle de la régénération de l'oxygène.

« A la suite de longues et patientes recherches, M. Georges Jaubert a trouvé, — dit M. Laborde, — une substance chimique qui, sous un poids relativement léger et *par une seule opération :*

« 1° Débarrasse totalement l'air vicié de son acide carbonique, de sa vapeur d'eau et des autres produits irrespirables;

« 2° Lui redonne automatiquement, en échange, la quantité d'oxygène mathématiquement exacte qui lui manque.

« En un mot cette substance, *par son simple contact* avec l'air vicié par la respiration, régénère totalement celui-ci et lui restitue toutes ses qualités premières.

Sans pouvoir entrer, relativement à cette substance, dans de plus amples détails, cette note n'étant destinée qu'à prendre date, et, en outre, *des expériences étant en cours sous les auspices du Ministère de la Marine*, l'auteur se borne à dire aujourd'hui qu'avec 3 à 4 kilogrammes de ce nouveau produit

il est possible de faire vivre, dans un espace hermétiquement clos (par exemple, dans un bateau sous-marin, ou un scaphandré) un homme sain et adulte pendant vingt-quatre heures. »

Les expériences que, grâce aux encouragements de l'amiral Miot et de plusieurs Ministres de la Marine, il a entrepris sur des animaux d'abord, puis sur l'homme ensuite, lui ont donné la preuve convaincante de l'authenticité de sa découverte.

MM. Laborde et Jaubert se proposent d'entretenir l'Académie ultérieurement de cette même question et de l'examiner alors au point de vue de son application à la médecine et aux besoins de la thérapeutique.

Voici, du reste, les résultats de deux essais typiques que MM. Laborde et Jaubert signalent à l'Académie de Médecine, expériences exécutées l'une sur l'animal et l'autre sur l'homme.

1° Sur l'animal vivant

« Un cobaye est placé sous une cloche en verre rodé, analogue à la cloche d'une machine pneumatique, et s'appliquant exactement sur une platine en verre rodé également ; la fermeture est donc hermétique.

« Cette cloche possède une tubulure munie d'un bouchon en caoutchouc par lequel passent deux tubes, l'un servant à l'aspiration de l'air vicié, et se rendant au générateur d'air artificiel ; l'autre, qui dépasse à peine le bouchon de fermeture en caoutchouc, servant à la rentrée de l'air épuré dans la cloche.

« L'air mis en mouvement par une petite pompe aspirante et foulante, qui marche par la pression de l'eau et forme joint hydraulique, est ainsi forcé de sortir de la cloche par le tube d'aspiration, de passer par le régénérateur pour s'y épurer, puis de retourner à la cloche en suivant le cycle indiqué.

« Le régénérateur lui-même est formé des substances chimiques dont nous avons parlé, absorbant l'acide carbonique et l'eau, et produisant de l'oxygène.

« Or, dans ces conditions, l'on peut faire vivre l'animal pendant un temps indéterminé et proportionné à la capacité du régénérateur ; avec un appareil assez grand, on pourrait prolonger l'expérience plusieurs semaines. »

2° Sur l'homme

« N'ayant pas à cette époque, à notre disposition, de cloche assez grande ou de scaphandre qui eût pu remplacer la cloche, l'expérience a été réalisée au moyen d'un masque respiratoire particulier, en même temps que le dispositif de l'expérience, dans laquelle l'animal est simplement remplacé par un homme (le frère de M. G. Jaubert, qui s'y est prêté de la meilleure grâce).

L'expérience a pleinement réussi, la respiration se faisant normalement, dans ces conditions, grâce au régénérateur.

Un seul et dernier mot des APPLICATIONS DE L'AIR ARTIFICIEL.

Elles sont de deux sortes : préventives contre l'*asphyxie*, et proprement *médicales*.

Nous ne parlerons des premières, en cours d'expériences, que pour rappeler qu'elles rentrent essentiellement dans le domaine des appareils submersibles (bateaux sous-marins, scaphandres, etc.), ou des appareils destinés à pénétrer dans des milieux irrespirables (casques pour pompiers, égoutiers, mineurs, etc.).

Relativement aux applications *médicales* proprement dites, nous ferons remarquer que la substance chimique en question est actuellement, de beaucoup, le réservoir d'oxygène le plus léger qui existe ; ainsi, avec quelques grammes que l'on peut facilement loger dans la poche du gilet d'un homme, il est possible de disposer *instantanément* de quelques dizaines de litres d'oxygène, quantité bien suffisante, en général, pour les besoins de la thérapeutique.

« En outre, l'oxygène obtenu par ce procédé est chimiquement pur ; on ne peut lui comparer, comme degré de pureté, que l'oxygène électrolytique, car l'oxygène en tube du commerce,

extrait de l'air atmosphérique, — comme M. Sigalas (de Bordeaux) l'a démontré dernièrement, — contient jusqu'à 10 0/0 d'azote, sans compter souvent des hydrocarbures provenant des huiles de graissage des pompes à compression. »

Avant de terminer ce chapitre, nous citerons également la récente découverte de la liquéfaction de l'air, par M. le professeur Dewar, à qui l'on doit le premier appareil pratique permettant la production de l'air à l'état liquide statique en quantité considérable.

Cet air liquide est non seulement une source d'oxygène à bon marché, mais il peut être utilisé aussi comme réfrigérant. On n'a qu'à laisser évaporer le mélange pour recueillir l'oxygène. L'azote, plus volatil, s'échauffe à 190°, et l'oxygène reste.

CHAPITRE VIII

FORME

Les essais de navigation sous-marine effectués jusqu'à ce jour ont été relativement peu nombreux; ils ont, de plus, porté sur des bateaux établis sur des données essentiellement diverses et trop éloignées l'une de l'autre pour que leur ensemble présente la moindre apparence de continuité. Leurs résultats eussent donc été toujours publics, — et ce n'est certes pas le cas, car le secret, le plus souvent, a été soigneusement gardé, — que nous manquerions encore de la donnée expérimentale capable de conduire avec quelque certitude à la détermination de la meilleure forme à donner à un sous-marin pour concilier en lui les traditions les plus satisfaisantes de puissance, de résistance et de vitesse.

Faute de cette donnée expérimentale, dont la possession ne pourra s'acquérir qu'à la longue, force nous est donc de recourir aux formules analytiques ou empiriques admises le plus souvent *a priori* par les géomètres qui les tiraient par induction de résultats d'un autre ordre, et connus avec certitude.

Ainsi nous voyons déjà l'illustre savant Newton, que ce problème intéressait, poser la formule suivante :

$$R = \frac{\pi A v^2}{2g},$$

R étant la pression exercée sur un corps plongé dans l'eau ;

A, la section du cylindre circonscrit parallèlement au mouvement;

π, le poids du mètre cube d'eau ;

v, la vitesse du navire ;

g, l'intensité de la pesanteur.

On voit que, d'après Newton, tout se passe comme si le corps recevait le choc d'un cylindre d'eau ayant A pour base.

Il en est de même de la formule de Poncelet, où le corps est réduit à un plan de surface A, battu par un liquide de vitesse uniforme v ; la résistance étant proportionnelle au sinus de l'angle d'incidence et au carré de la vitesse.

Viennent ensuite Dubuat Coulomb, Baufoy, de Prony, Egtelwein qui, par suite de résultats d'expériences, tiennent compte des pressions latérales, leur formule devient :

$$R = \frac{K\pi Av^2}{2g} + \pi s\,(av + bv^2),$$

dans laquelle a et b sont des coefficients de frottements, et s la surface latérale mouillée.

Quant à la formule de l'amiral Bourgeois, elle tenait compte de la forme du corps.

Actuellement, pour calculer la puissance des machines naviguant à la surface, on emploie la formule suivante :

$$F = \frac{V^3B^2}{M^3} \text{ (formule française) ;}$$

dans laquelle V est la vitesse en nœuds;

B^2 la maîtresse section immergée ;

et M^3 un coefficient qui varie de 2 à 4,4 suivant le rapport du maître couple à la longueur de la coque. Ce coefficient est donc très important et ne peut s'obtenir qu'à la suite d'expériences.

Le diamètre de la coque du *Gymnote*, est à sa longueur, dans le rapport de 1 à 10. Les essais de vitesses faits avec ce

sous-marin ont donné :

$$M = 2,874.$$

Pour un navire marchant à la surface et construit dans le même rapport, l'expérience a donné :

$$M = 3.$$

On peut donc conclure que, pour des sous-marins destinés à avoir des immersions inférieures à 5 mètres, le coefficient M est sensiblement égal à celui d'un navire marchant à la surface. Il y a donc intérêt, pour les sous-marins à grande vitesse, à augmenter le rapport du maître-couple à la longueur et réduire la maîtresse section immergée au minimum.

Voici, du reste, une formule permettant de calculer la vitesse d'un sous-marin ayant des données suivantes :

Largeur, 1 mètre ;

Longueur, 10 mètres ;

Forme cylindrique.

Le travail moteur utile, donné par une machine marine, est exprimé par la formule :

$$T_m = \alpha\beta T_p,$$

dans laquelle T_p est la puissance indiquée de la machine ;

$\alpha\beta$, deux coefficients de réduction destinés à tenir compte de la perte de travail dans la transmission au propulseur et de la perte due au propulseur lui-même.

D'un autre côté, ce même travail, exprimé en fonction de la résistance du navire et de sa vitesse, est de :

$$T_m = KB^2V^3,$$

B étant la section du navire ;

V, sa vitesse ;

K, un coefficient variable avec la forme du navire.

On a donc :

$$V^3 = \frac{\alpha\beta}{K} \times \frac{T_p}{B^2}.$$

En posant

$$m = \frac{\sqrt[3]{\alpha\beta}}{K};$$

on a donc :

$$V = m \frac{\sqrt[3]{T_p}}{B^2}.$$

Dans cette formule, on connaît :

T_p puissance indiquée à la machine ;

B, section droite du navire ;

$m = 3$.

Donc :

$$V = 3 \frac{\sqrt[3]{T_p}}{B^2}.$$

La forme à donner aux sous-marins varie suivant leurs destinations particulières; elle peut se classer en deux catégories bien distinctes :

1° La forme allongée, qui donne le minimum de stabilité et le maximum de vitesse ;

2° La forme sphérique, qui donne le maximum de stabilité et le minimum de vitesse.

Au point de vue militaire, les sous-marins devront être de trois types :

1° les sous-marins garde-côte ;

2° les sous-marins autonome à grand rayon d'action ;

3° les sous-marins pris en portemanteau à bord des cuirassés et des croiseurs.

Ces trois types devront avoir des formes différentes, appropriées à la destination de chacun d'eux.

FORME ALLONGÉE

Ces formes peuvent être :

1° cylindro-coniques symétriques, c'est-à-dire ayant la partie avant exactement semblable à la partie arrière (I) ; tels sont les sous-marins *Nordenfelt*, *Waddington*, *Gymnote*, *Goubet*, *Backer*, etc. ;

2° dissymétriques, ayant le maître-couple placé au tiers de la longueur et vers l'avant (II) ;

3° dissymétriques entre la partie supérieure et la partie inférieure, le maître-couple étant placé au milieu (III) ;

4° enfin, dissymétriques par la partie supérieure et inférieure, le maître-couple étant placé à l'avant (IV).

Une autre forme (V), étudiée spécialement pour *le Gustave-Zédé*, consiste à avoir la partie supérieure horizontale pour éviter la tendance qu'a la pointe du bateau à vouloir plonger par suite de la résistance qu'elle offre à l'eau pendant la marche.

Le *Holland* est construit suivant le tracé (II), et *le Plongeur* modifié suivant le tracé (III).

Ces coques peuvent présenter diverses sections : section circulaire, section elliptique et section ovale.

Le Dr Armans, dans son remarquable ouvrage sur *la Locomotion aquatique*, estime que les formes dissymétriques dont le maître-couple est placé au tiers vers l'avant seraient préférables, en ce sens qu'elles se rapprochent beaucoup des formes du marsouin, ou autres poissons non sédentaires, qui sont des modèles de vitesse.

En effet, si l'on s'inspire de la nature, on voit qu'elle façonne chaque espèce au point de vue des nécessités et des habitudes ordinaires de sa vie.

Pour confirmer cette théorie, nous relaterons des expériences faites par M. Milton, un savant Américain qui eut l'idée de promener dans l'eau, parallèlement à leurs arêtes, des prismes

taillés dans des blocs de glace. Il vit le fluide ronger peu à peu la face antérieure, effiler la partie arrière, abattre les arêtes,

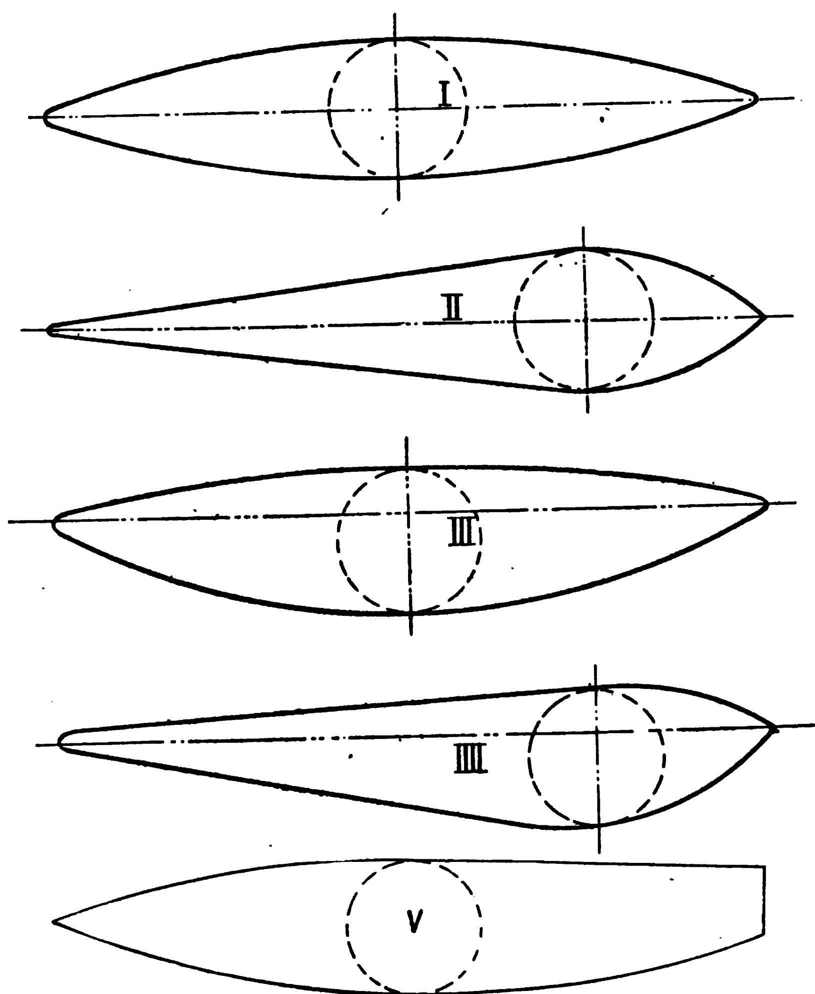


Fig. 8i à 88.

tandis que les remous diminuaient et disparaissaient progressivement.

Les mêmes résultats ont été obtenus avec des prismes en cire, suspendus dans une cheminée.

En ce qui concerne la résistance de l'eau sur la carène des navires, Newton et nombre de savants ont complètement négligé dans leurs formules ce coefficient, pourtant très important.

L'Angleterre, entre autres grandes puissances maritimes, a fait de longues et patientes recherches sur la résistance de l'eau.

M. Froude entre autres a fait une très intéressante conférence sur les résultats d'expériences qu'il fit lui-même.

Nous croyons intéressant de reproduire *in extenso* cette étude, ainsi que les judicieuses observations émises à ce sujet par M. le Dr Armans, dans son ouvrage sur *la Locomotion aquatique* :

« Je m'occupe de la résistance de l'eau sur un modèle de navire se mouvant avec des vitesses différentes. Pour plus de commodité, j'ai introduit la courbe des résistances ; elle s'obtient en représentant les vitesses par les abscisses, et les résistances par les ordonnées correspondantes. L'expérience montre que la courbe passant par les sommets des ordonnées donne avec une précision suffisante les résistances correspondant aux vitesses intermédiaires.

« J'ai fait le modèle en paraffine, substance qui se prête admirablement à toutes les opérations de moulage. On la coule dans une matrice en argile dont l'intérieur répond approximativement aux contours externes du vaisseau. L'âme de la matrice est faite d'un léger treillage en bois, recouvert de calicot, et d'une petite couche d'argile et de plâtre de Paris ; il est rendu ainsi imperméable à la paraffine fondue. On lui met au fond un léger ballot, afin qu'il se tienne dans la matrice, comme le vaisseau dans les docks. On y verse, en outre, de l'eau pendant la coulée de la paraffine, ce qui l'empêche de flotter et refroidit la paraffine. Le matin suivant, la paraffine étant complètement refroidie, on peut retirer le modèle et le soumettre aux opérations suivantes. »

Suivent les détails sur le rabotage du modèle, afin de lui donner les contours et la ligne de flottaison désirés.

« Les modèles employés étaient de 6 à 16 pieds de long, de

18 pouces à 2 pieds de large, du poids de 200 à 800 livres. Les expériences avaient lieu dans un bassin de 200 pieds de long, 10 pieds de profondeur et 36 pieds de large recouvert d'un hangar.

« Le modèle est muni d'un appareil d'entraînement solidaire d'un véhicule qui se déplace sur des rails solidement fixés, et reliés au hangar, sans aucun rapport avec la surface de l'eau. La résistance de l'eau sur le modèle se mesure par la tension d'un ressort qui se transmet à un levier et s'inscrit au crayon sur un cylindre enregistreur. La vitesse du cylindre est à celle du véhicule comme un cinquième de pouce à 1 pied. Un autre crayon, mû par un mouvement d'horlogerie, marque sur le tambour un point, chaque demi-seconde.

« J'ai rendu le mouvement du modèle parallèle à celui du véhicule, afin d'éviter les déplacements à droite ou à gauche; il en résulterait la formation de courants et de tourbillons qui viendraient augmenter la résistance. Toute liberté est laissée aux déviations de haut en bas. Le véhicule dynamométrique est mis en mouvement par une machine à vapeur; un régulateur très sensible permet de lui donner la vitesse uniforme désirée (de 50 à 1.200 pieds à la minute).

« Une circonstance non encore signalée est la variation des profondeurs d'immersion suivant les vitesses. Certaines formes de navires ont une tendance à culbuter, d'autres à se cabrer. Cela influence évidemment la résistance. Aussi ai-je introduit un appareil enregistreur qui me permet d'en tenir compte. »

Avant de comparer les courbes de résistance sur le vaisseau lui-même et sur le modèle, un mot de théorie.

Depuis longtemps on a pris comme unité de résistance de l'eau sur les vaisseaux la résistance sur la section maîtresse. On admettait qu'avec des extrémités de plus en plus aiguës on pouvait réduire la résistance totale à celle du plus grand plan transversal, perpendiculaire au mouvement. Maintenant les mathématiciens eux-mêmes reconnaissent le peu de fondement de cette théorie; une autre a surgi récemment, celle des *lignes courantes*. D'après cette théorie, s'il n'y avait pas,

dans l'eau, de frottement, le poisson une fois en mouvement n'éprouverait aucune résistance s'il continuait à nager, ce poisson serait-il même réduit à un plan perpendiculaire au mouvement. L'unique résistance aurait lieu au début, pour passer de l'état de repos à l'état de mouvement. Les courants exercent sur le corps en mouvement la même pression à la sortie qu'à l'entrée. Justifions plus amplement cette assertion, qui paraît paradoxale.

« Au lieu de prendre le corps mobile dans un milieu tranquille, supposons l'inverse, c'est-à-dire le corps immobile et le liquide en mouvement; dans les deux cas, évidemment, les conditions sont les mêmes [1]. Chaque ligne courante éprouve une incurvation en approchant du corps; mais, une fois celui-ci contourné, elle reprend sa direction primitive. Sa vitesse augmente dans le contournement pour devenir la même à la sortie, et cela sans l'introduction d'une force nouvelle. Établissons ce dernier point.

« Prenons un tube d'égal diamètre partout et légèrement courbé, de façon à avoir les extrémités parallèles. La déviation du courant par la courbe du tuyau développe une force centrifuge qui tendra à faire mouvoir le tuyau dans une direction connue; mais, à la sortie, il se produira une autre force de sens contraire, qui neutralisera la première; finalement le corps restera immobile. Même résultat avec une boule au lieu d'un tube.

« S'il y a rétrécissement du même tuyau en un point, l'eau y passe avec une augmentation de vitesse et une diminution de pression sur les parois du tube. Pour expliquer cette augmentation de vitesse, il faut bien admettre que les molécules liquides éprouvent plus de pression en arrière qu'en avant. L'inverse a lieu, si le liquide passe dans une région de

[1] Pas tout à fait; il n'est pas indifférent, pour un poisson, de rester immobile dans un fort courant, ou d'intervertir les rôles; la résistance ne dépend pas seulement de la vitesse, mais de la forme du mouvement, forme très différente, chez le poisson, de celle du courant. Du reste, les expériences de Dubuat prouvent que, dans le cas d'un corps immobile, dans un courant, la résistance est plus grande que dans le cas d'un corps mobile dans une eau immobile.

plus grand diamètre; celle-ci est la région de plus petite vitesse et de plus grande pression. Il y a compensation entre les deux écarts de vitesse et de pression, et le liquide reste le même à la sortie qu'à l'entrée. »

Nous pouvons appliquer ces considérations au cas d'un poisson supposé immobile dans un courant. La vitesse commence par diminuèr, comme celle d'un liquide passant dans un élargissement; le maître-couple passé, elle augmente en se dirigeant vers la queue. C'est l'inverse pour la pression, qui augmente d'abord, puis diminue et redevient au bout de la queue ce qu'elle était à la tête. Finalement le poisson ne bouge pas de place.

« Il n'en est pas ainsi pratiquement, car il y a frottement dans les tubes et sur le poisson lui-même (le frottement est même d'autant plus fort que la surface est moins dure). Dans les vitesses assez modérées, pour éviter la formation de vagues étendues (vagues sous la dépendance des inégalités citées plus haut), la résistance sur les vaisseaux dépend uniquement du frottement superficiel. Il pourrait rester encore une certaine résistance provenant des tourbillons; mais on peut les éviter avec des contours convenables. Dans nos expériences, par exemple, nous voyons que des modèles de 10 à 20 pieds, à la vitesse de 50 pieds à la minute, n'éprouvent que la résistance due au frottement superficiel. Je mesurais ce frottement en tous les points de planches de 1/8 de pouce d'épaisseur, 19 pouces de haut, et de longueurs variables de 3 à 4 pouces à 50 pieds.

« Il ressort de ces expériences que la résistance sur la partie antérieure de la planche est plus grande que sur la partie postérieure. Cela provient de l'entraînement des molécules d'eau dans le même sens que la planche. Ainsi, avec une planche de 50 pieds, on peut voir des deux côtés, à l'arrière, un courant de 7 à 8 pouces, et la vitesse moyenne des molécules de ce courant est presque égale à la moitié de celle de la planche; le frottement doit donc être moindre à l'arrière qu'à l'avant.

« Si la proue est faite d'un métal poli et couverte d'une

épaisse couche de graisse, le frottement forme sur celle-ci des sillons d'autant plus petits qu'on s'éloigne davantage de la proue; mais, à 10 pieds de la proue, la diminution reste stationnaire. En variant la nature et la qualité de la surface, on voit que le frottement est une fonction très sensible de cette nature.

« Ainsi une planche recouverte d'une feuille d'étain de 7 à 8 pouces de long éprouve seulement la moitié de la résistance d'une planche recouverte de laque. D'un autre côté, si la planche a 50 pieds de long, la résistance est la même dans les deux cas. On pourrait en conclure que les corps à surface lisse et molle[1], comme les poissons, éprouvent plus de frottement que les corps à surface dure et polie. Il faut admettre qu'un modèle de 20 pieds de long, se mouvant à la vitesse de 15 à 16 pieds à la seconde (ce qui équivaut au cas d'un vaisseau de 300 pieds de long se mouvant à la vitesse de 6 nœuds à l'heure) éprouvera une résistance dépendant uniquement du frottement superficiel; les mesures dynamométriques ont montré qu'effectivement il en est ainsi.

« La formation des vagues dans les grandes vitesses complique la question; c'est pour éviter ce genre de résistance qu'on recherche les meilleurs contours à donner. Le problème, pour nous, doit se poser ainsi: construire un vaisseau d'un déplacement avantageux, à une vitesse donnée, avec le moins de dépense possible. Par déplacement d'eau, nous entendons le poids total du navire; une diminution de cette quantité ne peut être qu'utile.

« La forme des contours a une influence considérable sur la vitesse. Les contours qui conviennent à un long navire pour des vitesses de 7 à 9 nœuds, sont absolument désavantageux pour des vitesses de 16 à 18 nœuds. Pour les vitesses modérées, il vaut mieux un vaisseau court.

« Voyons maintenant la comparaison des résistances sur le

[1] Expression impropre pour les poissons, et en général pour tous les animaux aquatiques. La surface de leur corps est élastique et vibrante; il est imprudent de la comparer à une matière inorganique.

modèle, avec celle du vaisseau. Un modèle de longueur l et de vitesse v, quelles sont les longueur et vitesse du navire donnant des vagues semblables (la résistance d'ondulation s'obtient par une différence d'ordonnées entre les courbes de résistance totale et de résistance de frottement). Pour qu'il en soit ainsi, il faut la proportion :

$$\frac{V}{v}=\frac{\sqrt[2]{L}}{l},$$

où V et L sont la vitesse et la longueur du navire.

« Ainsi, pour un modèle seize fois moins long que le vaisseau et ayant une vitesse de 2 nœuds et demi, il faut donner 10 nœuds au vaisseau. Quant à la résistance résultant de ces vagues semblables, elle est proportionnelle au cube des longueurs (dans notre cas, $16^3 = 4.096$). Telles sont les bases de comparaison pour la résistance des vagues.

« Pour le frottement, c'est plus difficile à comparer, étant donné que son unité varie suivant la longueur des navires. On peut cependant, en comparant des navires semblables, négliger la longueur et dire : les résistances totales de vaisseaux semblables, doués de vitesses concordantes, sont entre elles comme les cubes de leurs dimensions.

« Les longs vaisseaux conviennent aux grandes vitesses[1], les courts aux moyennes. De deux vaisseaux à contours pareils c'est celui de moindres dimensions qui éprouve moins de résistance. »

Mendeliew a consacré un chapitre spécial aux travaux de Froude; je citerai seulement quelques-unes de ses critiques:

« Froude, partisan de la théorie de la friction, place dans le frottement la principale dépense du moteur, la principale cause de résistance, sinon pour un modèle anguleux, du moins pour le vaisseau... Les appareils dynamométriques de Froude

[1] Ces deux observations s'accordent avec celles de mécanique animale. Les contours changent suivant les vitesses non seulement d'une espèce à l'autre, mais chez le même individu. Le limnée, par exemple, rampe à la surface de l'eau ; son pied forme un ovale qui s'allonge ou se ramasse, suivant la vitesse à obtenir.

mesurent plus que le frottement réel. Il y a en outre :

1° La résistance de l'air sur les parties mobiles des appareils ·

2° La résistance de l'eau sur l'arbre de réunion des appareils avec le nez ;

3° La résistance de l'eau sur les parties saillantes, sur les aspérités de la planche ;

4° La résistance dépendant de l'épaisseur de la planche, de sa largeur, de la forme de la proue et de la poupe, ou des angles de rencontre et d'éloignement de l'eau et du corps en mouvement ;

5° La résistance des bords, supérieur et inférieur de la planche, susceptibles d'être courbés, soit par différences de plan de l'eau et de la planche, soit par défaut de parallélisme avec les rails ;

6° Les ondulations serpentiformes, propres à de longues et minces planches. »

Mendeliew insiste avec raison sur l'importance de la coupe, de la forme des contours. C'est, en effet, d'une importance capitale et c'est un de ses critériums principaux dans l'étude de la locomotion aquatique.

Si Froude a noté des différences de frottement à l'avant et à l'arrière, c'est qu'il n'a pas tenu compte de la courbure du nez et de la poupe, qui sont loin d'être parallèles au mouvement. Malgré les expériences de Froude, Mendeliew n'admet pas que deux planches, ne différant uniquement que par la nature de la surface polie, produisent des résistances différentes. Ce serait contraire aux expériences de Coulomb, faites avec toute la rigueur scientifique. Du reste des tubes propres, différant seulement de substance, ont le même débit.

Les différences de poli entraînent des variations de frottement de 1 à 3,60 ou 4 (planches sableuses de Froude, tubes incrustés de Darsi). Cette différence ne provient pas de la nature de la surface, mais de la surface, elle-même et de son aire qui est évidemment plus grande avec que sans aspérités.

En somme, le frottement des liquides est un élément important de résistance, il varie comme la résistance totale, et peut, par suite, se confondre avec elle. Mais il est insuffisam-

ment bien étudié pour les surfaces inclinées ; par conséquent :

1° On ne peut évaluer les frottements avec certitude que pour les surfaces parallèles à la direction du mouvement, et cela dans les cas des surfaces polies ;

2° Le frottement des plans inclinés et des surfaces rugueuses ne se soumet pas encore au calcul ;

3° Par suite, pour l'étude de la résistance, pour obtenir, par exemple, des formes nautiques, des corps de moindre ou de plus grande résistance, il ne faut pas, dans la majorité des cas, séparer le frottement de tous les autres facteurs de résistance.

Dans les vitesses ordinaires, les lois de frottement sont très voisines des lois de résistance (l'une et l'autre force croissent proportionnellement au carré de la vitesse). Cela porte à faire confusion et est cause de l'oubli complet du frottement dans les premières théories.

Fort de ces conclusions, je puis ajouter que, malgré de nombreuses et coûteuses expériences, on a peu perfectionné les formules de résistance.

On a introduit des coefficients nouveaux, variables suivant les conditions de l'expérience et les idées de l'auteur. Si l'on réalise parfois des contours convenables, le succès ne se généralise pas ; il reste limité au cas particulier ; dans lequel même il ne se retrouve pas toujours. Comment en serait-il autrement, lorsque les formules ne tiennent aucun compte :

1° De la forme du corps. L'évaluation de cette forme est inabordable en algèbre, et ce n'est qu'au prix de longs tâtonnements que l'expérience se rapproche quelquefois du but : aller au plus vite, et dépenser le moins possible. Il y a des animaux qui ne tâtonnent plus et ont atteint ce but; l'observation directe de leurs formes est plus instructive que les appareils de Beaufroy et Froude ;

2° De la forme du mouvement. Il n'est pas indifférent que les forces internes du corps le poussent en ligne droite ou ondulée. La forme du mouvement est un facteur important ; les lignes sinusoïdes et stomatoïdes signalées dans mon travail sont en rapport avec ce facteur ;

3° De la différence de pression à des profondeurs différentes [1]. C'est elle qui cause la dissymétrie complète de la figure de profil.

Cette dissymétrie est quelquefois liée au genre de vie de l'animal ; je rappellerai seulement les tendances à se cabrer ou à cabrioler.

Mais il est d'autres cas où elle ne peut être attribuée qu'à la différence de niveau ; lorsque l'animal, par exemple, évolue indifféremment, et de la même allure, dans les trois directions de l'espace (*Locomotion aquatique*, art. 1).

Dans son étude sur *les Bateaux sous-marins*, M. Ledieu présente les observations suivantes :

« Il faut spécialement, dans la confection des bateaux sous-marins, tenir compte de la forme propre qui leur est imposée pour les prémunir contre les écrasements par de grandes profondeurs, tout en les proportionnant de façon à réduire la résistance de leur carène à la marche. Mais ces combinaisons obligent, en particulier, à veiller de près à leur *stabilité de route*.

« La stabilité de route d'un navire consiste dans la propriété de cesser assez rapidement de tourner :

1° Quand, pour une cause ou pour une autre, il est dévié accidentellement de la route qu'il suit :

2° Quand cette déviation étant entravée et rectifiée à l'aide du gouvernail, il revient dans sa première direction et ne l'outrepasse point par la vitesse relative subsistant après le redressement de la barre bien manœuvrée.

« Lorsqu'un navire manque de la qualité capitale qui nous occupe, il embarde incessamment d'un bord ou de l'autre ; et le capitaine n'est plus maître de la route.

« Les arrêts de rotation s'effectuent spontanément, grâce aux résistances respectives à tourner qu'offrent, d'une part, la

[1] Je dois dire, cependant, que George Juan et Poterat ont insisté sur l'inégalité de résistance à des profondeurs différentes. Mais la formule de George Juan n'a pas été reconnue exacte dans tous les cas, et les idées de Poterat (théorie du navire) n'ont pas eu d'applications pratiques (*Dictionnaire des mathématiques appliquées*, Sonnet ; art. *Résistance de l'eau*.)

portion de surface du navire située du côté du mouvement, en avant du centre de gravité, et, d'autre part, la portion de surface en arrière de ce centre et à l'opposé de l'abatée. Ces deux résistances constituent un couple, plus une force appliquée au centre de gravité, si elles ne sont pas égales. Pareille force se produit, du reste, pour l'action du gouvernail transporté audit centre. Le couple ainsi constitué se trouve plus ou moins puissant, selon les formes moins ou plus arrondies des deux extrémités de la carène.

« Après le début de l'embardée, ce couple se trouve contrarié : car la marche du navire, malgré l'action du propulseur, n'a plus lieu suivant la quille, à cause de la vitesse de translation que possède le centre de gravité dans le sens de la première direction. Il résulte de ce chef une dérive en sens contraire du mouvement de rotation et conséquemment une résistance totale très complexe de la carène. On peut, *grosso modo*, décomposer cette résistance en un couple afférent au mouvement de rotation et en une résistance correspondant à la marche avec dérive appliquée à l'avant du bâtiment et inclinée sur l'axe de celui-ci, du côté opposé à l'abatée. Cette dernière résistance favorise alors la rotation au détriment de l'arrêt de celle-ci par le couple précité; car son point d'application, dit *centre de dérive*, passe en principe en avant du milieu du navire. Pour restreindre son influence, il faut, à l'aide de la différence du tirant, faire culer ledit centre.

« A l'explication approchée que nous venons de donner, on peut substituer une théorie plus rigoureuse. En somme, la dérive en vue entraîne, pour chaque élément de la surface avant immergée, une diminution de sa vitesse instantanée, évaluée perpendiculairement au plan diamétral, voire même un changement de sens de cette vitesse aux approches du milieu du navire, et, conséquemment, il se produit une diminution de la résistance à la rotation ; au contraire, il y a augmentation pour chaque élément de la surface arrière immergée. Donc, en accroissant cette dernière surface par la différence de tirant d'eau, on remédie à l'influence désavantageuse de la dérive.

« Par ailleurs celle-ci se trouve augmentée par l'action du gouvernail transportée au centre de gravité; mais elle peut être entravée par l'augmentation de la résistance à la rotation due à la partie arrière de la surface de la carène, en donnant plus de tirant d'eau à cette partie qu'à l'avant.

« Enfin, avec grande vitesse, la dérive appuie sensiblement plus contre la mer l'avant du navire que l'arrière qui se trouve dans une eau déjà repoussée; elle a de la sorte son mauvais effet encore augmenté.

Tout cela explique la nécessité de la différence de tirant d'eau à bord des navires ; et, s'il en est d'exceptionnels où cette différence n'a que peu d'influence sur la stabilité de route, il faut l'attribuer à des dissemblances notables entre les formes de l'arrière et de l'avant, qui, par leur seul fait, produisent le même effet avantageux que la différence en question. Mais, en revanche, de pareilles dissemblances peuvent être très défavorables, comme dans les torpilleurs, où, la question de vitesse étant capitale, il est impossible de renfler les formes de l'avant; et il n'y a alors moyen de faire culer le centre de dérive que par une différence de tirant d'eau considérable.

« Le rôle de la différence de tirant d'eau sur la stabilité de route ne se trouve rigoureusement expliqué dans aucun traité sur la théorie du navire, ancien ou moderne. En tous cas, on attribue aussi à cette différence une amélioration de la vitesse; mais l'effet est ici dû à ce que la stabilité de route étant accrue, il y a moins d'embardées et, par suite, moins de travail de propulsion gaspillé de ce fait. On doit aussi remarquer que la différence de tirant d'eau tend à diminuer l'angle d'attaque des sections longitudinales et, par suite, la résistance de la carène.

« Avec les bâtiments à voiles, l'effet peut être encore attribué à ce que le vent vient frapper plus avantageusement la toile et à ce que l'assiette du navire se trouvant changée améliore le sillage.

« D'autre part, avec le vent et la mer de côté, surtout si le navire est voilé, il survient de la dérive qui rend le navire

ardent, comme cela résulte des explications précédentes, et l'effet est d'autant plus marqué que le sillage est plus grand. La différence de tirant d'eau rend alors le navire moins ardent, en reculant sur l'arrière le centre de dérive, ce qui rapproche ce centre du centre de gravité, et d'ailleurs en augmentant, par une plus profonde immersion, l'efficacité du gouvernail pour contrecarrer l'appel du navire au vent.

« Ces mêmes motifs expliquent encore pourquoi la différence de tirant d'eau rend le navire plus maniable, et, par suite, en facilite les manœuvres.

« Les considérations précédentes sont d'un intérêt supérieur pour les bateaux sous-marins en raison des formes spéciales et arrondies auxquelles est assujettie leur carène. Il ne faudrait pas hésiter, pour accentuer leur stabilité de route, à munir, l'arrière, d'un plan de dérive de forme triangulaire fixé au-dessous de la quille et venant se raccorder avec celle-ci vers le milieu de sa longueur. »

DES FORMES AU POINT DE VUE DE LEUR CONSTRUCTION ET DE LEURS RÉSISTANCES

Nous avons vu précédemment que la forme allongée pouvait présenter différentes sections : section circulaire, section elliptique et section ovale. Chacune de ces sections devra avoir nécessairement des épaisseurs qui iront en diminuant depuis le maître-bau jusqu'à ses extrémités. Il s'ensuit que ces diverses épaisseurs seront variables, suivant la nature du métal employé, de la forme propre donnée au bateau, ainsi que de ses principales dimensions.

Une autre forme employée par M. Balsamello, en 1879, et plus récemment encore par M. Piatti dal Pozzo, dans son travailleur sous-marin, est la forme sphérique, laquelle tend à dominer pour l'usage de ces appareils tout spéciaux.

Forme allongée. — Section circulaire. — La forme allongée et circulaire est la plus facile à construire pour le travail au tour.

De plus elle résiste très bien aux pressions extérieures, pressions qui, dans certains cas, peuvent devenir très fortes.

Pour des sous-marins construits en vue de la défense ou de l'attaque, la profondeur d'immersion ne saurait être grande, et l'on sait, en effet, que la pression extérieure n'augmente que de 1 kilogramme par centimètre carré; pour une profondeur de 10 mètres, on pourrait donc avoir une coque relativement faible.

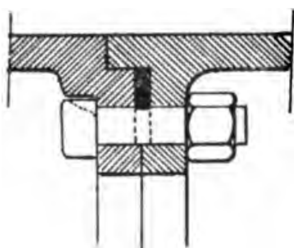
Si nous envisageons le cas d'un sous-marin construit dans un but purement pacifique et commercial, c'est-à-dire destiné à l'exploration d'épaves à la suite de naufrages, d'inspections sur la nature du lit des lacs ou autres masses d'eau en vue d'établir des fondations et des constructions sous-marines, la pose ou la vérification de câbles télégraphiques, et, en général, tous les cas où il y a lieu d'exécuter un travail sous l'eau, il faut avoir, au contraire, une coque parfaitement établie au point de vue de la résistance.

On ne saurait trop insister sur ces considérations au sujet de la résistance à la pression, car il est de toute évidence que si la coque, par suite de son peu de résistance, s'affaissait à de certains endroits, compromettrait non seulement la sécurité du bateau, mais encore sa stabilité se trouverait détruite, par suite de la diminution de volume du déplacement du bateau.

Des dimensions respectables comme épaisseur s'imposent donc, et elles seront d'autant plus fortes qu'au lieu d'employer du fer et de l'acier, on emploiera du bronze. De plus les assemblages devront se faire avec des boulons et rivets en bronze, afin d'éviter le courant électrique qui pourrait s'établir avec l'eau de mer, malgré tous les enduits possibles, si l'on employait des boulons en fer.

Les diverses parties qui composent la coque ne sauraient être assemblées et ajustées par les procédés ordinaires ; en effet elles

ne pourraient résister aux brusques variations de pression dans les immersions. De plus les frottements contre la masse liquide toujours en mouvement donneraient lieu à des réactions qui viendraient fatiguer les rivets ; les parties en couvre-joint, malgré les soins apportés au montage, donneraient lieu à des fuites, sinon dangereuses, du moins dispendieuses au point de vue de la réparation.


Fig. 89.

Divers dispositifs, parmi lesquels nous citerons celui étudié par M. Goubet, peuvent permettre d'éviter ces inconvénients.

On peut joindre une suite de viroles ou anneaux dressés sur leurs faces et entre lesquels on interpose une bande de caoutchouc formant ainsi un joint parfait (*fig.* 89).

Le dressage au tour n'est guère possible pour des diamètres un peu forts ; les difficultés de fonderie sont également plus grandes. L'étanchéité peut néanmoins s'obtenir d'une façon rigoureuse de la façon suivante :

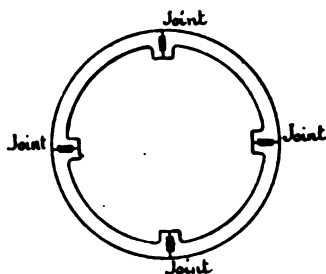
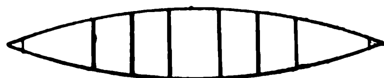


Fig. 90.

Chaque partie circulaire sera composée d'une série de pièces fondues, suivant une courbure convenable que l'on assemblera ensuite (*fig.* 90), de façon à former un cylindre absolument rigide. Chacune de ces pièces sera ensuite reliée à la virole suivante, comme dans le cas précédent. Les joints peuvent se faire au moyen de lames de plomb ou de bandes de caoutchouc.


Fig. 91.

Les parties extrêmes sont coniques et réunies aux autres, formant ainsi un tout très résistant (*fig.* 91). *Le Goubet n°* 2, construit avec des cylindres en bronze réunis suivant le pro-

cédé indiqué en A, est estimé théoriquement pour résister à une pression d'écrasement de 150 atmosphères, ce qui correspond à une immersion de près de 1.500 mètres ; et cependant l'épaisseur de la tranche centrale n'est que de 2 centimètres et demi ; cette épaisseur va ensuite en diminuant pour arriver ensuite à 15 millimètres aux extrémités.

Si on admet une pression d'écrasement pratique égale au 1/5 de la pression théorique, soit $\frac{150}{5} = 30$ atmosphères, on pourra descendre à une profondeur de 300 mètres en toute sécurité. Le bateau restera absolument étanche et à l'abri de toute déformation.

Cette section circulaire, qui présente de si nombreux avantages au point de vue de la résistance, a, par contre, quelques inconvénients. L'aménagement intérieur y est plus difficile.

En effet, si nous représentons graphiquement un carré inscrit dans cette circonférence intérieure, on voit immédiatement que la surface disponible diminue dans une forte proportion ; il est vrai que ces segments, formés par les côtés du carré, peuvent être utilisés pour la tuyauterie, et tous les petits mécanismes du bord ; leur place semble toute indiquée à cet endroit.

Quant au manque de stabilité, nous avons vu comment il était facile de le corriger.

En résumé, dans des sous-marins de grandes dimensions, de 100 mètres de longueur et de 10 mètres de diamètre, les épaisseurs de la coque devront être calculées en raison de ces pressions ; mais comme, avec de pareilles dimensions, l'emploi du bronze comme métal de construction serait trop onéreux, M. Goubet estime que la coque pourrait être coulée en fonte et munie intérieurement et extérieurement d'une chemise en bronze ou en cuivre, soigneusement fixée à la coque.

Sections elliptique et ovale. — Au point de vue de la résistance, ces sections paraissent bien moins équilibrées que la section circulaire ; mais, dans certains cas d'aménagement

intérieur, on pourrait également s'en servir; elles peuvent, du reste, résister à des pressions extérieures très fortes, et leur forme, qui se rapproche de celle des poissons, favoriserait dans une certaine mesure le déplacement horizontal, ainsi que les mouvements d'immersion et d'émersion. Dans ce cas tout spécial, nous ferons remarquer que le centre de gravité est plus éloigné du centre de carène et contribue ainsi à augmenter la stabilité du bateau.

La construction de la coque pourrait se faire absolument comme les coques à section circulaire.

Forme sphérique. — Cette forme, qui a une destination toute spéciale, est celle qui résiste le mieux aux pressions extérieures énormes que l'on aurait à supporter dans les grandes profondeurs.

En effet tous les efforts travaillent normalement sur toute la surface de la sphère, ce qui ne saurait avoir lieu avec des sections circulaires ou elliptiques. Elle ne favorise pas la marche de l'appareil, ni son aspect ; mais il peut y avoir certains cas où la question de vitesse n'est que secondaire.

La construction ne peut se faire qu'au moyen de pièces venues de fonte qu'on réunira ensuite suivant le procédé indiqué précédemment.

* * *

En ce qui concerne les bateaux sous-marins destinés à la guerre, la profondeur d'immersion ne saurait être très grande (5 à 10 mètres) ; il est donc préférable d'employer l'acier ou le fer pour la construction de la coque.

L'épaisseur de la coque peut être déterminée par la formule suivante :

$$E = \frac{PD}{2R},$$

dans laquelle P représente la profondeur d'immersion en atmosphères;

D, le diamètre extérieur de la coque;

Et R, le coefficient de résistance correspondant à la nature du métal employé.

Le tableau suivant donnera une idée des principales caractéristiques pour une coque de sous-marin de 36 mètres de longueur sur 2^m,80.

TABLEAU DES CALCULS DE RÉSISTANCE ET DE DÉPLACEMENT POUR UNE COQUE CYLINDRO-CONIQUE DE 36 MÈTRES DE LONGUEUR SUR 2^m,80 DE DIAMÈTRE.

COQUE ACIER DOUX

	Epaisseurs.	
Tôles du bordé de la partie centrale........	12	milimètres.
Tôles du bordé des parties des extrémités..	10	—
Tôles des cloisons étanches limitant la chambre des machines......................	7 et 6	—
Tôles des cloisons étanches limitant les compartiments des extrémités..............	6	—
Tôles des varangues......................	6	—
— des gouvernails.....................	4	—
Calculs de la résistance à la pression de 1 kilogramme à l'intérieur avec les tôles de 12 millim. seules. $R = \frac{PD}{2e} = \frac{1 \times 27.76}{24} =$	1^{kg},156	

	Échantillons.	Poids.
Cornières, membrures et barrots de la partie centrale....................	60 × 80	10 kilogr.
Cornières, membrures et barrots des extrémités......................	50 × 70	7 —
Cornières, armatures des cloisons....	50 × 70	7 —
Cornières, varangues................	50 × 70	7 —

DIMENSIONS PRINCIPALES

Distance entre perpendiculaires de l'extrémité AR de la coque à l'extrémité AV...........	A =	36 mètres
Longueur de la carène proprement dite....	L =	35^m,88
Longueur totale du bâtiment hors tout (longueur d'encombrement.....................	L_1 =	36^m,56
Largeur extérieure de la carène au fort situé à l'axe................................	l =	2^m,80

CALCULS DE DÉPLACEMENT

Volume de la carène en mètres cubes, appendices non compris	$V =$	$129^{m3},000$
Déplacement de la carène en tonneaux, appendices non compris	$V \times 1.026 =$	$132^{Tx},000$
Volume des accessoires de la coque (réservoir à pétrole, poids de sûreté, gouvernails, capots, kiosques, hélices)		$4^{m3},000$
Déplacement des accessoires en tonneaux		$4^{Tx},104$
Déplacement total approximatif	$132^{Tx} + 4^{Tx} =$	$136^{Tx},000$
Surface immergée au maître-couple (réservoir à pétrole et poids de sûreté non compris)	$B_1^2 =$	$6^{m2},1575$
Surface totale immergée au maître-couple	$B^2 =$	$6^{m2},40$
Surface de l'extérieur à l'axe des formes	$\Sigma =$	$114^{m2},21$
Volume du parallélipipède circonscrit à la carène de $35^{m},88$	$Ll^2 =$	$281^{m3},000$
Volume du cylindre circonscrit au couple du milieu :	$B_1^2 L =$	$221^{m3},000$
Surface du rectangle circonscrit à l'axe.	$S = l \times L_1 =$	$102^{m2},368$
Surface du rectangle circonscrit au couple du milieu.	l^2	$7^{m2},84$

Rapport en nombres abstraits :

du volume de la carène à celui du parallélipipède circonscrit	$\frac{V}{Ll^2} =$	0,458
du volume de la carène à celui du cylindre circonscrit au maître-couple...	$\frac{V}{B_1^2 L} =$	0,583
de la surface de l'extérieur à l'axe des formes à celle du rectangle circonscrit :	$\frac{\Sigma}{L_1 l} =$	1,115
du couple du milieu à celle du rectangle circonscrit	$\frac{B_1^2}{l^2} =$	0,785

DEVIS DES POIDS (APPROXIMATIF)

1° *Construction de la coque, de ses réservoirs et du tube lance-torpilles*

Coque proprement dite et les cinq gouvernails	$34^{Tx},500$
Un tube lance-torpilles avec ses chantiers et son réservoir	$4^{Tx},000$
Arbres pour les hélices y compris la butée	$1^{Tx},500$
TOTAL	$40^{Tx},000$

2° Exposant de charge et complément de coque

Moteur à pétrole (500 chevaux indiqués)............	12^{Tx},000
Dynamos (électromoteurs) (200 chevaux).............	13^{Tx},000
Accumulateurs..................................	55^{Tx},000
Poids de sûreté................................	2^{Tx},000
Pétrole..	2^{Tx},500
Hélices..	0,^{T} 500
TOTAL..............	85^{Tx},000
Rotatives, tuyautages, réservoirs divers, compresseur d'air..	40^{Tx}
	125^{Tx},000
Eclairage électrique, divers, torpilles, eau, équipage, provisions, lest y compris le disponible...........	11^{Tx}
TOTAL égal au déplacement......	136^{Tx},000

CHAPITRE IX

FORCE MOTRICE ET PROPULSION

Nous disions précédemment que la stabilité et la visibilité étaient les deux coefficients les plus importants de la navigation sous-marine. En réalité, ces deux facteurs — et nous pouvons dire même, toutes les conditions multiples de la navigation sous-marine — sont subordonnés à un troisième facteur non moins important, la force motrice.

Il semblerait, à première vue, que le choix d'un moteur convenable pour un sous-marin soit assez facile, car ils sont nombreux ceux qui, dans l'espace qui pourrait leur être attribué, développeraient une puissance bien plus que suffisante à produire le mouvement du navire. Mais considérons un peu ce navire dans sa position spéciale d'utilisation, c'est-à-dire quand il est entièrement submergé. Il est clair que bien des machines — et nous pouvons dire tout de suite que toutes les machines thermiques que nous connaissons et appliquons de manière courante — seront hors d'état de fonctionner normalement dans une telle position.

La question semble alors présenter deux solutions peut-être possibles : ou bien déterminer et adopter un dispositif spécial permettant au moteur thermique de fonctionner dans des conditions anormales pour lui ; — ou bien choisir un autre moteur tout différent dans son principe et son ordre de marche.

L'étude du premier cas avait conduit à l'essai de moteurs à feu munis d'une cheminée que terminait un appareil spécial

par où les gaz de la combustion pouvaient s'échapper à travers l'eau, à la condition que l'on maintînt dans le moteur une pression supérieure à la pression de l'eau augmentée de la pression de l'atmosphère. Sans insister sur les difficultés de construction et d'emploi que nécessiterait une semblable machine, venons tout de suite au point capital.

Tout moteur thermique dépense un combustible quelconque — charbon, pétrole, gaz..., — il absorbe donc, pour la rejeter au dehors sous forme de gaz, un certain poids de matière préalablement embarquée et, par suite, par son fonctionnement même, modifie continuellement le poids du navire dont il assure le mouvement. La flottabilité — toujours assez faible — de ce navire est donc, d'instants en instants, modifiée dans de notables proportions, et il est pratiquement impossible de compenser au fur et à mesure les pertes de poids par des adductions d'eau dans les réservoirs; il en résulte que la stabilité disparaît, que la trajectoire se déforme et que la conduite du bateau devient impossible.

Si nous ajoutons à cela que la combustion absorbe en grande quantité l'air si précieux dans un navire immergé et, de plus, laisse échapper dans les parties habitées de ce navire des gaz délétères susceptibles de compromettre la santé et la vigueur de l'équipage, nous en avons dit plus qu'il n'en faut pour démontrer l'impossibilité d'employer en immersion un moteur thermique. Quelques chiffres, du reste, vont nous permettre de le démontrer.

Prenons, par exemple, un sous-marin dont la durée d'immersion sera d'environ une heure, et employons, pour marcher ainsi en vase clos, une bonne machine à vapeur ordinaire de 500 chevaux dépensant en moyenne 1 kilogramme de charbon par cheval-heure. Nous aurons, en estimant à 20 kilogrammes en chiffre rond l'air nécessaire pour assurer la combustion de 1 kilogramme de charbon, 1.000 kilogrammes d'air, soit 8.000 mètres cubes d'air comprimé à 100 kilogrammes dans un réservoir de 80 mètres cubes de capacité.

Quant aux variations de poids que subira le navire immergé,

COMPOSITION ET PUISSANCE CALORIFIQUE, DÉDUITES DE LA COMBUSTION COMPLÈTE DE 1 KILOGRAMME DE COMBUSTIBLE

(*Les puissances calorifiques sont exprimées en calories et les volumes en mètres cubes*)

Pour les corps de la série A, les moyennes ont été obtenues expérimentalement dans les meilleurs conditions de la pratique, en ce qui concerne la vaporisation (colonne 6).

En ce qui concerne le pouvoir calorifique déduit de la composition (colonne 5), les résultats ont été calculés en comptant le pouvoir calorifique de l'hydrogène égal moyennement à 29.000 calories, et celui du carbone à 8.000 calories (d'après Tresca).

Pour les corps de la série B, les résultats (colonne 5) ont été calculés en comptant le pouvoir calorifique de l'hydrogène égal à 34.462, et celui du carbone à 8.080 (d'après Péclet).

SÉRIE A DONNÉES NUMÉRIQUES d'après Tresca	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE sur 100 parties en poids				POUVOIR CALORIFIQUE DÉDUIT			D'APRÈS LA THÉORIE				DANS LA PRATIQUE		POUR OBTENIR MÊME QUANTITÉ DE CHALEUR La consommation étant 1 dans la pratique la consommation de combustible sera :		
								Poids nécessaire à la combustion de 1 kilogramme de combustible A et B								
	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Cendres	de la composition	De la vaporisation dans les bonnes conditions de la pratique		d'oxygène	d'air pur	Volume correspondant au poids d'air pur	Volume des gaz brûlés ramenés à 0°	Volume d'air	Poids d'air	en poids	en volume	en volume, à l'encombrement
		kil.			cal.	cal.	lit.	kil.	kil.							
Hydrogène	»	1.00	»	»	29.000	»	»	8.00	23.97	26.26	29.68	»	»	»	»	»
Gaz d'éclairage	0.62	0.21	0.17	»	10.000	8.281	13	2.64	1.22	8.51	11.03	10	13.20	0.61	9.07	»
Carbone pur	1.00	»	»	»	8.000	»	»	2.66	11.30	8.59	8.59	»	»	»	»	1.00
Houille de bonne qualité	0.85	0.05	0.15	0.05	8.000	5.096	8.000	2.66	11.29	8.72	8.75	18	22.71	1.00	1.00	0.88
Anthracite	0.90	0.03	0.03	0.04	7.500	5.207	8.300	2.64	11.21	8.67	8.50	22	28.43	0.97	0.90	2.25
Coke	0.85	0.05	»	0.0	7.000	4.777	7.600	2.26	9.69	7.50	7.30	20	25.84	1.06	»	2.95

dont la flottabilité est voisine de 100 kilogrammes, on aura : consommation du charbon, 500 kilogrammes + 10.000 kilogrammes d'air, soit une perte de poids de 10.500 kilogrammes pendant une heure.

Ces chiffres nous dispensent d'insister davantage.

On trouvera, dans le tableau de la page 165, à titre de renseignement, la composition et la puissance calorifique, déduites de la combustion complète de 1 kilogramme de combustible, d'après Barré et Vigreux.

Signalons ici pour mémoire la tentative faite de fonctionnement du moteur en vase clos ; — tentative avortée d'ailleurs et qui compliquait la question d'une foule de détails; emport d'air comprimé, appareils automatiques d'entretien du feu, appareils automatiques de compensation des pertes de poids (car il y avait forcément une cheminée à pression pour les gaz de la combustion), etc. ; et concluons catégoriquement :

Un sous-marin ne pourrait marcher en immersion que sous l'influence d'un moteur fonctionnant *sans combustion ni perte de poids.*

Un moteur mécanique, tel qu'un mouvement d'horlogerie, est évidemment inapplicable, en raison de la puissance et de la vitesse qu'il est nécessaire d'atteindre.

Le moteur à air comprimé devra être éliminé aussi, à cause de la difficulté d'emporter une provision d'air suffisante, provision qui, sous une pression moyenne, occasionnerait un encombrement incompatible avec l'exiguité de l'espace disponible et sous une pression considérable serait d'abord un danger à cause des risques de rupture sous l'influence d'une élévation accidentelle de température et ensuite causerait par son emploi une perturbation anormale et susceptible de troubler et de fatiguer l'équipage, en raison des froids intenses produits par la détente. Nous ne parlerons même pas des bouillonnements de l'eau, qui indiquerait encore la route du navire à ses ennemis; le moteur à air comprimé est donc éliminé comme les précédents.

Ne poussons pas plus loin cette discussion, qui arriverait à

nous faire mettre de côté toutes les machines ordinairement utilisées, sauf une, la machine motrice électrique.

L'électromoteur est le seul, en effet, qui remplisse toutes les conditions ici imposées, parce que l'énergie électrique est la seule qui soit transportable en dynamisme sans changement de poids, sans absorption d'air et, aussi, quand les générateurs sont convenablement construits, sans émission de gaz délétères et de produits nuisibles à l'habitabilité du navire.

Nous poserons donc en principe que : *Tout bateau sous-marin devra être muni d'un moteur électrique qui sera seul employé pendant la marche en immersion.*

Une question alors tout naturellement se pose :

Étant admis que le sous-marin marche électriquement sous l'eau devra-t-il aussi et forcément employer le même mode de propulsion quand il navigue à la surface ?

Dans ce dernier cas, en effet, il se trouve dans la situation à peu près d'un navire ordinaire, et, n'était la préoccupation de lui laisser la faculté de plonger instantanément, tout moteur lui serait alors applicable. Nous allons voir que bien des restrictions sont à faire.

D'abord il nous faut signaler que certains inventeurs ou navigateurs réprouvent l'emploi d'un double moteur et ne veulent concevoir le sous-marin que dans les conditions où il se trouve en immersion complète et par conséquent par l'électricité. De là une classe de sous-marins uniquement électriques, ayant par suite une stabilité de poids bien plus facile à maintenir, mais aussi un rayon d'action assez faible et qui sont réduits à l'impuissance absolue aussitôt que leurs générateurs sont à bout. Nous verrons un peu plus loin que ces générateurs ne sauraient être que des accumulateurs, et il en résulte pour ces navires la nécessité de ne pas s'éloigner et de revenir souvent au port où ils savent trouver une usine électrique assez puissante pour recharger leur batterie.

C'est pour parer à cet inconvénient que l'on a imaginé les bateaux sous-marins *autonomes ;* ces derniers possèdent, outre le moteur électrique, un moteur thermique dont nous déter-

minerons plus loin la nature et sous l'action duquel ils naviguent à la surface. Au moment de plonger, ils éteignent leurs feux, remplissent leurs réservoirs au niveau convenable et procèdent comme un bateau uniquement électrique sous l'action de leur dynamo.

Nous reviendrons sur ces bateaux en nous occupant des moteurs; parlons d'abord des générateurs d'énergie électrique.

Les premières tentatives d'application de force motrice fournie par l'électricité ont été faites en France, à bord d'un sous-marin de faibles dimensions (*le Gymnote*), au moyen des piles légères chlorochromiques de M. Renard; mais l'on a dû renoncer à leur emploi pour alimenter des moteurs puissants.

En effet les piles à acide chromique n'ont pas donné toujours le résultat prévu et voulu, malgré leur puissance supérieure à toute autre pile (une pile de 48 kilogrammes donne 1 cheval de 736 watts). L'instabilité du liquide ne permettait de les conserver que quelques jours; en outre, ces piles produisent un dégagement de chlore que l'on atténue dans les limites du possible, en substituant, équivalent à équivalent, l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique. Le liquide, dans ce cas, ne diminue pas sensiblement de quantité.

En résumé, les qualités d'une pile quelle qu'elle soit devraient être les suivantes.

1° avoir une tension constante;

2° une action chimique en rapport avec l'intensité du courant de façon qu'à circuit ouvert elle ne dépense pas;

3° une force électromotrice très élevée;

4° économie dans les produits composant la pile;

5° rapidité dans l'entretien et le chargement des piles;

6° résistance intérieure faible et constante.

Étant donné les vitesses relativement grandes que l'on exige aujourd'hui pour des sous-marins de faible tonnage, on conçoit qu'aucune pile ne soit capable de remplir les conditions que nous venons d'énumérer.

En effet, si nous prenons comme exemple un sous-marin de

35 mètres de longueur, $2^m,75$ de diamètre et marchant à une allure de 13 nœuds.

La force motrice nécessaire sera donc donnée par la formule d'utilisation :

$$V = M \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}};$$

V, vitesse en nœuds (en milles à l'heure);
B^2, section du maître-couple en mètres carrés;
F, puissance de la machine en chevaux-vapeur;
M, coefficient empirique expérimentalement fixé à 3 environ.

L'expression de F tirée de cette formule sera :

$$F = \frac{V^3 B^2}{M},$$

nous avons pris comme valeurs numériques :

$$\left| \begin{array}{l} V = 13 \text{ nœuds}, \\ B^2 = 6^{m2}, \\ M = 3, \end{array} \right.$$

$$F = \frac{(13)^3 \times 6}{3} = \frac{2197 \cdot 6}{3} = 488...$$

soit en chiffres ronds 500 chevaux.

Nous pouvons maintenant déterminer le nombre de piles nécessaire pour développer 500 chevaux. Le cheval-vapeur correspondant à 736 watts, on aura alors :

$$500 \times 736 = 368.000 \text{ watts}.$$

Si nous employons des électromoteurs dont la tension est de 200 volts, nous aurons, en prenant comme pile des éléments au bichromate de potasse, dont la force électromotrice est de 2 volts, $\frac{200}{2} = 100$ éléments.

Mais, pour assurer un débit de $\frac{368.000 \text{ watts}}{200 \text{ volts}}$, soit 1.840 am-

pères, chaque couple devra se composer d'éléments montés en parallèle dont le nombre serait égal à 1.840 × 0^{ohm},20, soit 184 éléments.

ACCUMULATEURS ÉLECTRIQUES

On sait que deux électrodes polarisées, étant réunies par un fil conjonctif, restituent l'électricité qui avait été employée à produire la polarisation; toute la théorie des accumulateurs est renfermée dans ces quelques mots. Gaston Planté montra qu'en employant des lames de plomb on obtenait les effets de polarisation les plus considérables; il eut ensuite l'idée d'utiliser cette propriété pour réaliser un accumulateur d'énergie électrique; c'est de lui que vient le nom et la chose.

C'est en 1859 que Gaston Planté a créé la pile secondaire au plomb, ou pile reversible qui a illustré son nom.

Le couple de Planté était composé de deux lames de plomb parallèles et très rapprochées, plongées dans l'eau acidulée; le passage du courant de charge oxydait le métal au pôle positif et réduisait l'oxyde qui pouvait recouvrir le pôle négatif; la décharge tendait à remettre les lames dans leur état primitif. Il fallait soumettre préalablement le plomb à une série de charges et de décharges, qui avaient pour effet de le rendre poreux et de faire intervenir une masse de métal plus considérable dans la réaction. Cette opération préliminaire s'appelle la formation de l'accumulateur; elle était longue et dispendieuse. Planté trouva le moyen de l'abréger par une immersion des lames dans de l'eau acidulée par moitié de son volume d'acide azotique; mais le travail était encore trop coûteux.

C'est alors que M. Camille Faure eut l'idée ingénieuse de recouvrir les feuilles de plomb d'une pâte de minium retenue par un sac de feutre, fixé au métal par des rivets de plomb; l'invention est de 1881; par cet artifice, la formation fut régulièrement abrégée et facilitée; il suffisait dès lors de charger l'accumulateur à refus deux fois et de le décharger pour que le minium donnât du peroxyde sur la lame positive et du plomb

réduit sur la lame négative ; on obtient de la sorte une formation profonde d'une capacité considérable.

Les appareils Planté et Faure sont les deux types auxquels peuvent être ramenés tous les accumulateurs qui se disputent aujourd'hui la faveur des électriciens ; nombreux sont les modèles qui ont été produits en vingt ans ; mais la classification que nous venons d'établir permet de les comprendre tous.

Par des artifices spéciaux, on a réussi à augmenter la surface des lames de Planté sans augmenter le volume et le poids des appareils ; on a employé dans ce but les moyens les plus divers ; le plomb a été strié, gondolé, gaufré, ajouré, feutré, grenaillé, étiré, etc. En somme, le type de Planté n'a été que modifié.

Le sac de feutre de M. Faure se détruisait facilement, et l'inventeur perfectionna lui-même son appareil en fixant mieux le minium sur le métal. En collaboration avec MM. Sellon, Volckmar il imagina de quadriller le plomb et d'y comprimer la pâte dans les creux ; c'est l'origine des accumulateurs à cellules ; on fit mieux encore en adossant deux lames de grillage et en intercalant dans l'intervalle des pastilles qui ne pouvaient ni se briser ni se détacher. En définitive, c'est toujours le type de M. Faure qu'on reproduit sous des formes diverses.

Le grand ennemi des accumulateurs est le foisonnement des plaques par la sulfatation du plomb ; 1 volume de plomb peroxydé donne 2 volumes de sulfate de plomb ; le plomb poreux réduit augmente lui-même de volume. Cet inconvénient existe aussi bien avec les accumulateurs genre Planté, formés en plein plomb, qu'avec les accumulateurs à cellules. C'est ainsi que les plaques se désagrègent et se détruisent. Augmenter la durée des appareils est donc le premier objectif des inventeurs ; tous y visent, et ils prétendent presque tous avoir réussi.

Un autre défaut à éviter c'est, la formation des courts-circuits ; on supprime ce grave inconvénient par des dispositions ingénieuses des plaques permettant de rendre impossible tout contact direct ou indirect entre elles ; il faut encore établir les

prises de courant, de telle sorte que l'eau acidulée ne puisse les atteindre ; enfin les plaques grillagées, qui servent de support aux pastilles, subissent une véritable formation en service, et elles perdent leur solidité ; on y obvie en alliant divers métaux au plomb ; l'antimoine a donné de bons résultats.

Toutes ces questions ont été parfaitement étudiées dans ces derniers temps, et le problème approche de sa solution, sans qu'on puisse se flatter néanmoins de posséder un accumulateur sans reproche.

Pour se rendre compte de la valeur d'un accumulateur, il faut déterminer six éléments qui sont :

1° Conservation de la charge à circuit ouvert;

2° Le débit des ampères par kilogramme de plaques ;

3° Le rapport du poids utile de plomb au poids brut ;

4° La puissance normale en watts ;

5° La capacité des watts-heure ;

6° Le prix par kilogramme de plomb utile ;

Les piles chlorochromiques furent remplacées, à bord du *Gymnote*, par un accumulareur Commelin-Desmazures.

Cet accumulateur (*fig.* 92, 93 et 94) est constitué par une série de lames de fer et de cuivre isolées et plongées dans un liquide composé d'une dissolution de zinc et de potasse caustique.

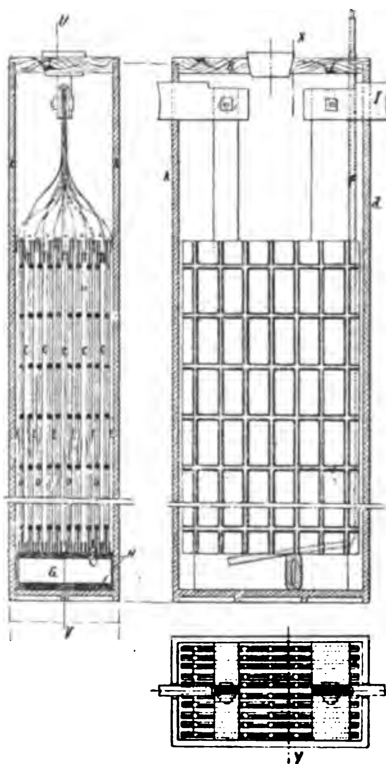


Fig. 92, 93 et 94.
Accumulateur Commelin-Desmazures.

Les négatives sont faites d'une toile métallique en fer étamée et amalgamée.

Les plaques positives sont formées d'une toile métallique en cuivre, sur laquelle on a compressé du cuivre pulvérulent, à la pression de 1.000 kilogrammes au centimètre carré. Chaque plaque positive est logée dans un sac en parchemin qui forme

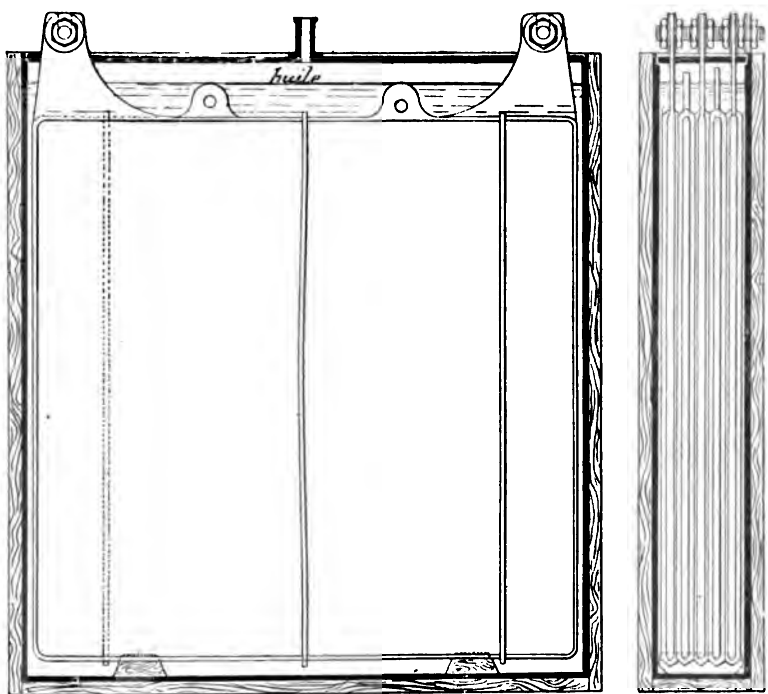


Fig. 95 et 96. — Accumulateur Laurent-Cély.

cloison poreuse. Les plaques sont isolées les unes des autres par un grillage en ébonite.

Pendant la charge le zinc se dépose sur les plaques négatives, et l'oxygène oxyde les plaques positives.

A la décharge, le zinc s'oxyde, et l'oxyde de cuivre se réduit pour reformer du cuivre pulvérulent.

A la charge il se forme un dépôt électrolytique de zinc sur les négatives, qui sont alors composées de quatre métaux, fer-

étain, mercure et zinc. Tant que le fer reste étamé et amalgamé, l'accumulateur fonctionne ; il devient inerte dès que le fer est à nu.

Ces accumulateurs ont été remplacés à bord du *Gymnote* par une batterie d'accumulateurs de la Société du travail électrique des métaux. Cette Société emploie les procédés de fabrication de M. Laurent Cély, qui permettent d'augmenter la capacité de l'accumulateur (*fig.* 95 et 96), tout en lui assurant une grande durée relative ; la lame est faite d'un alliage de plomb et d'antimoine, et elle est évidée ; on coule dans les trous du chlorure de plomb fondu, puis on plonge cette plaque dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique ; il se forme ainsi un couple voltaïque ; si l'on introduit un cylindre de zinc dans le liquide excitateur, le chlorure est réduit en formant une masse spongieuse, dont la densité ne dépasse pas 5,7.

La formation de ces plaques est rapide et profonde ; on ne constate point de foisonnement, et les plaques positive et négative se conservent bien.

Les accumulateurs employés à bord des sous-marins ont des bacs spéciaux en bois doublés à l'intérieur ; ils sont hermétiquement fermés ; les connexions se font à l'extérieur et à l'abri des sels grimpants ; chaque élément porte un tube relié à un collecteur pour éviter le dégagement de l'hydrogène à l'intérieur du bateau.

Les accumulateurs, comme les piles primaires, ont un meilleur rendement lorsqu'ils sont couplés en tension. Il y a donc lieu d'éviter autant que possible les couplages en quantité ; il faut, en établissant les calculs de la batterie, choisir tout d'abord le régime de voltage en évitant les trop hautes tensions il sera facile ensuite de déterminer le nombre d'éléments nécessaires pour fournir la différence de potentiel prévue, en prenant comme différence de potentiel moyenne par élément à la décharge 1,9 volt ou 2 volts.

La première batterie du *Gustave-Zédé* était formée de 720 éléments. En présence d'un nombre aussi considérable d'éléments, l'on a été dans l'obligation de fractionner et de coupler les

batteries en quantité pour ramener la différence du potentiel à 200 ou 300 volts.

Cette première batterie a donné bien des mécomptes, dus à son couplage et à son arrimage à bord, qui étaient des plus défectueux ; l'on se rend compte de la difficulté de placer et de fixer 720 éléments dans une coque de section cylindrique ; les éléments placés à la partie inférieure se trouvaient couverts par les rangées supérieures et n'étaient jamais visités.

Cette batterie a été remplacée par une autre de même système dont les éléments sont beaucoup plus grands, ce qui a permis d'en réduire le nombre et de modifier le couplage en quantité, qui était défectueux. C'est avec ces derniers accumulateurs que *le Gustave-Zédé* a terminé ses essais et qu'il a effectué le parcours de Toulon à Marseille et retour.

Actuellement nous possédons *le Gymnote*, *le Zédé* et *le Morse*, qui sont uniquement électriques, alimentés par des accumulateurs de la Société des Métaux, *le Narval*, qui est actionné en immersion par des accumulateurs Fulmen.

Nous avons en construction six sous-marins électriques, *le Français* et *l'Algérien*, qui recevront l'un une batterie de la Société des Métaux, l'autre une batterie d'accumulateurs Phénix ; pour les quatre sous-marins type Farfadet, diverses Sociétés ont fourni des devis de poids et de prix ; mais nous ne sommes pas encore fixés sur l'attribution de ces dernières fournitures.

Nous croyons intéressant de donner une note sur les détails de construction des accumulateurs qui sont en service à bord des sous-marins ou qui sont susceptibles d'être appliqués plus tard.

Nous avons constaté que les constructeurs abandonnent peu à peu les accumulateurs à oxydes de plomb à formation artificielle, pour revenir au type primitif genre Planté à formation autogène ; quelques constructeurs cherchent à tirer parti des avantages des deux systèmes, en combinant des éléments mixtes, dont les plaques positives sont du genre Planté et les négatives de Faure, et même les deux systèmes sur la même plaque.

La question du poids n'est pas étrangère à ce mouvement, si nous examinons le poids des accumulateurs existants et si nous comptons sur une capacité de 6 ampères-heures par kilogramme de plaques, la différence de potentiel entre les deux électrodes étant égale à 2 volts pendant la décharge.

Un kilogramme de plaques peut fournir 12 watts-heure. Un cheval-vapeur de 75 kilogrammètres par seconde équivaut à 736 watts par seconde.

Un cheval-heure, ou 736 watts-heures, est fourni par $\frac{736}{12} = 61^{kg},250$ de plaques. En prenant le coefficient 1,30, on obtient le poids total, liquide, bacs et connexions compris, soit $61{,}250 \times 1{,}30 = 79^{kg},625$; ce poids d'accumulateur du cheval-heure est considérable ; il y aurait un grand intérêt à le réduire.

On peut déterminer la quantité théorique de plomb nécessaire à la production d'un cheval-heure, sous une différence moyenne de potentiel de 2 volts, nécessitant un courant de 368 ampères-heures.

Un courant ayant une intensité de 1 ampère, traversant un bain pendant une heure, électrolyse $3^{gr},858$ de plomb. La quantité de plomb intéressée sur chaque électrode par un courant de 1 ampère-heure sera de : $3^{gr},858 \times 2 = 7^{gr},716$. Théoriquement, pour obtenir le travail d'un cheval-heure, il faut donc $7{,}716 \times 368 = 2^{kg},839$ de plomb, en tenant compte de l'oxydation de la plaque positive. Le poids peut être évalué à 3 kilogrammes.

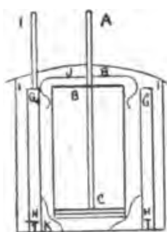
Au point de vue de l'utilisation des matériaux qui les composent, on voit que les accumulateurs ont un très mauvais rendement. En effet, pratiquement il faut $61^{kg},250$ de plaques pour produire 1 cheval-heure, tandis que, théoriquement, il suffit de 3 kilogrammes : $\frac{61.250}{3} = 20.416$; on voit ainsi que le vingtième du poids seulement est intéressé dans l'action chimique.

Nous verrons plus loin, en décrivant les accumulateurs à oxydes, que les plaques sont formées de quadrillages servant

de supports à la matière active, afin d'obtenir une certaine cohésion et une résistance suffisante, on donne aux plaques un minimum d'épaisseur de 5 millimètres environ. D'après M. Faure, la couche rapportée, qui participe aux réactions électrolytiques, est seulement de $0^{mm},5$; les calculs établis plus haut nous montrent que ce chiffre est encore exagéré. Théoriquement les plaques devraient avoir $0^{mm},25$ d'épaisseur ; on voit l'impossibilité matérielle de fixer la matière active dans un support d'une aussi faible épaisseur et de maintenir le parallélisme de plaques planes aussi minces, tandis qu'il est possible, par le procédé Planté, d'employer le plomb très mince et de chercher le meilleur moyen d'augmenter la surface.

ACCUMULATEUR PEYRUSSON

Voici la description sommaire de cet appareil : il se compose d'un vase étanche contenant une seule électrode positive et une électrode négative.



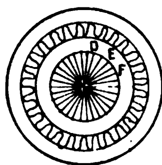


Fig. 97 et 98.

L'électrode positive est formée par une forte tige centrale A (*fig.* 97) servant de connexion, autour de laquelle sont soudés de nombreux feuillets rayonnant de 1/2 millimètre d'épaisseur. Ces feuillets sont encastrés dans des culots de plomb, B et C, à la partie supérieure et à la partie inférieure, de manière à former un tout rigide.

L'électrode négative est formée par une seule feuille de plomb de 1/2 millimètre d'épaisseur, plissée en éventail et roulée ensuite en cylindre. Des fentes sont ménagées à chaque pli interne D, E, F, etc., de manière à permettre la circulation du liquide. Les deux bases du cylindre sont également englobées (sauf pour le plus petit modèle) dans les couronnes massives G, H, qui permettent d'obtenir un ensemble bien solide. La connexion I est venue de fonte avec la couronne supérieure.

Le tout plonge dans un vase en grès ou en verre rempli d'eau acidulée par l'acide sulfurique. Deux petites coupelles en porcelaine, J, K, placées en haut et en bas de l'électrode positive, la maintiennent bien au centre de l'électrode négative, tout en assurant un bon isolement. La coupelle inférieure, reposant sur un support en porcelaine dégagé par dessous, empêche en outre les parcelles d'oxyde ou de sulfate de plomb, qui tombe au fond du vase, d'établir un court-circuit entre les deux électrodes. Des rondelles de caoutchouc sont placées sous les deux électrodes de manière à éviter les chocs. L'ensemble est complété par un couvercle où sont ménagés deux trous pour le passage des deux connexions.

Faible épaisseur des lames. — L'accumulateur Peyrusson se fait tout d'abord remarquer par la faible épaisseur des lames. Les considérations que nous avons développées en tête de cette étude, et qui montrent qu'une fraction infime de plomb employé est utilisée par l'action chimique, ont conduit l'inventeur à réduire l'épaisseur des lames à 1/2 millimètre, dimension qu'il considère comme un minimum dans les applications courantes pour obtenir une résistance mécanique suffisante.

Reprenons rapidement le calcul de la couche active dans ces conditions, en admettant avec l'inventeur, comme nous le verrons plus loin, une capacité de 40 ampères-heure par mètre carré de surface active. Un courant de 40 ampères-heure intéresse dans l'électrolyse $3^{gr},858 \times 40 \times 2 \times 2 = 617^{gr},28$ de plomb pour les deux faces des deux électrodes. — $1^{m},2$ de plomb de 1/2 millimètre d'épaisseur pèse 5.700 grammes. Donc le rapport du plomb actif au plomb total est $\frac{617.28}{5.700}$; comme les feuilles ont 1/2 millimètre d'épaisseur, l'épaisseur de la couche active, sur chaque face, est de :

$$\frac{0,5 \times 617.28}{2 \times 5.700} = 0,027 \text{ millimètres,}$$

c'est-à-dire moins de 1/30 millimètre d'épaisseur.

Au point de vue chimique, cette épaisseur de 1/2 millimètre permet encore à l'oxyde de se renouveler intégralement environ sept fois avant complète usure, c'est-à-dire de fournir un service très long, comparativement aux accumulateurs à formation artificielle, dans lesquels la pâte se boursouffle et tombe bien avant l'usure chimique.

NOTE SUR LA COMPOSITION DES ÉLÉMENTS D'ACCUMULATEURS TRANSPORTABLES DE LA SOCIÉTÉ POUR LE TRAVAIL ÉLECTRIQUE DES MÉTAUX.

Les éléments d'accumulateurs de la Société pour le Travail électrique des Métaux se composent (*fig.* 99) de plaques positives du type à augets, et de plaques négatives d'un type différent,

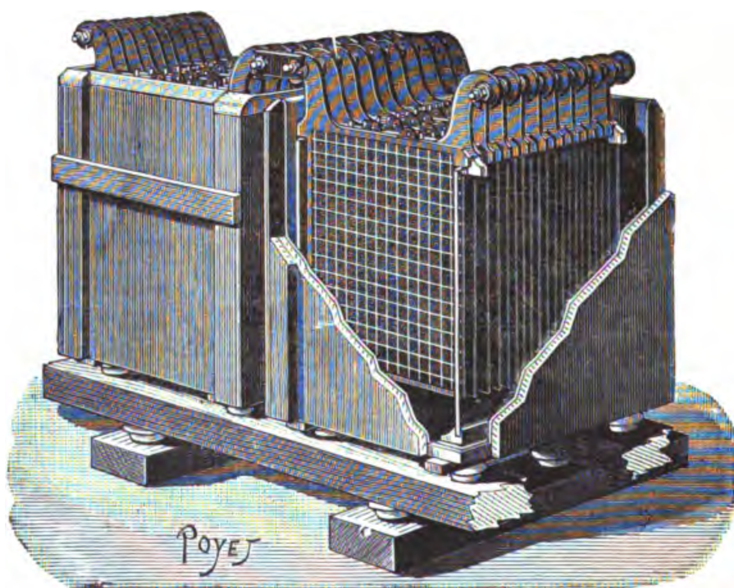


Fig. 99.

type à pastilles; les plaques posititives sont constituées par un quadrillage en plomb antimonieux moulé sous pression. Ce

quadrillage comporte une âme pleine, sur les deux faces de laquelle se trouvent des saillies triangulaires parallèles aux côtés horizontaux de la plaque, qui forment avec cette âme des rainures ou « augets » remplis d'une pâte spéciale à base d'oxydes de plomb, qui est transformée par l'électrolyse en bioxyde de plomb formant la matière active de la plaque. La plaque se trouve consolidée par des nervures pleines, perpendiculaires aux saillies et par un cadre venu de fonte.

Elle est munie à sa partie supérieure d'un appendice servant de prise de courant.

Les plaques négatives se composent de plomb spongieux cristallin formant la matière active de la plaque et d'un quadrillage en plomb antimonieux, obtenu par coulée autour des pastilles de plomb spongieux qu'il réunit entre elles et qui sert de conducteur de courant. Les pastilles de plomb spongieux sont obtenues par la réduction avec des procédés spéciaux de pastilles à base de chlorure de plomb fondu.

Les plaques de même polarité sont réunies électriquement par des barrettes de plomb soudées aux prises de courant.

Chaque élément est fermé par un couvercle muni d'une ouverture qui sert aux dégagements des gaz pendant la charge.

Les électrodes sont montées dans des bacs en ébonite, placés eux-mêmes dans des caisses en bois de chêne revêtues d'un vernis spécial, et consolidées par des ferrures qui servent aussi à enlever les éléments; elles sont supportées par des tasseaux en ébonite, et elles sont isolées au moyen des dispositifs suivants; chaque plaque positive est enveloppée d'un tissu inattaquable par l'acide étendu formant l'électrolyte et est séparée des plaques négatives voisines par deux quadrillages en ébonite permettant la libre circulation de l'électrolyte et le facile dégagement des gaz qui se forment pendant la charge des éléments; les enveloppes des plaques positives s'opposent à la chute de la matière active de ces plaques, en l'empêchant de venir former des courts circuits entre les plaques de polarité différente. Elles augmentent la durée des plaques positives et évitent les visites et les démontages des

éléments. De plus, elles permettent de réduire la distance

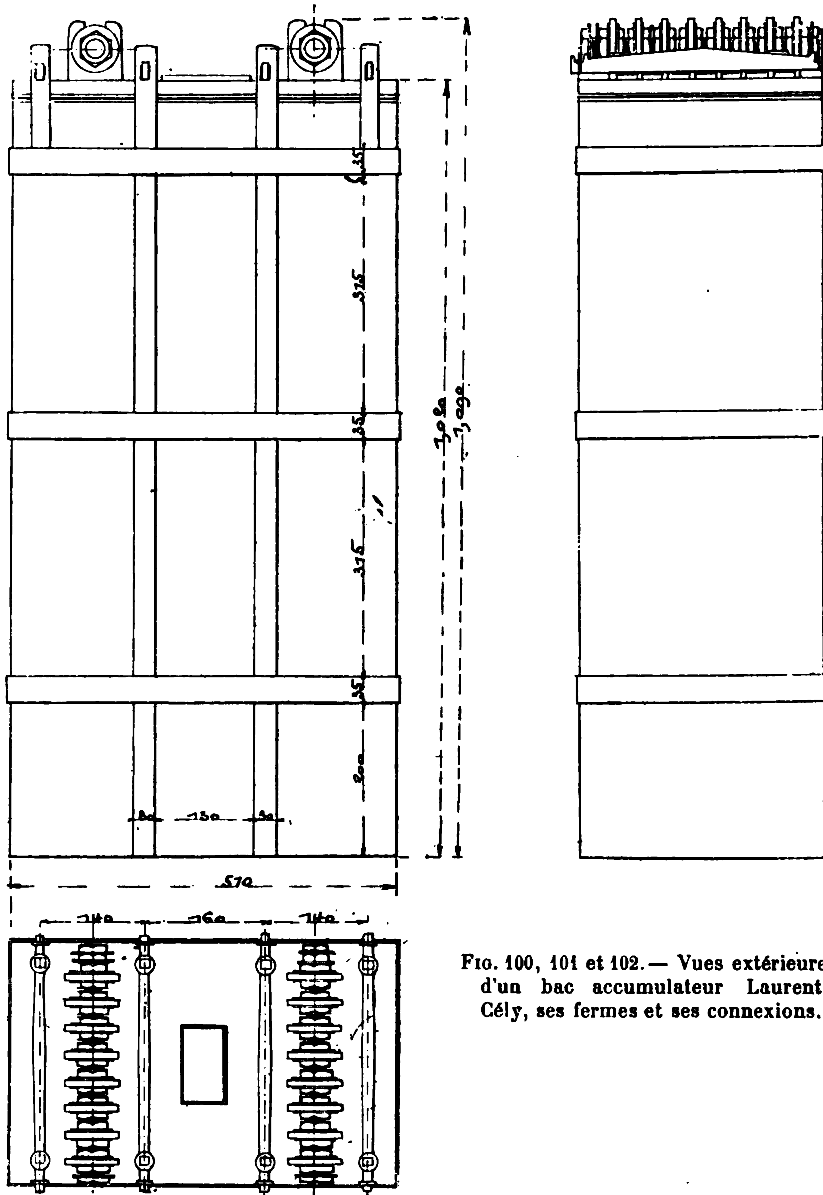


Fig. 100, 101 et 102. — Vues extérieures d'un bac accumulateur Laurent-Cély, ses fermes et ses connexions.

entre les plaques et diminuent ainsi le volume des éléments.

Comme indication, quelques données numériques pour un élément pesant environ 480 kilogrammes :

Volume approximatif du bac : 126 litres.

Capacité à différents régimes de décharge :

3.400	ampères-heures,	au régime	de décharge de	110	ampères
2.500	—	—	—	400	—
1.900	—	—	—	800	—

Suivant la capacité demandée, les dimensions de plaques peuvent varier entre :

Hauteur : 850 millimètres. Largeur : 445 millimètres.
Hauteur : 100 millimètres. Largeur : 100 millimètres.

La société des Métaux construit des éléments de types différents, et particulièrement de : types dont les plaques positives sont analogues, sauf l'épaisseur aux plaques négatives. La matière active, qui est primitivement du chlorure de plomb, est transformée par le courant en bioxyde de plomb.

Ces éléments ont, à égalité de volume, des poids inférieurs et des capacités supérieures aux régimes de décharge faibles et moyens à celles des éléments comportants des plaques positives à augets; mais ces dernières plaques offrent l'avantage de pouvoir être réparées en garnissant à nouveau les augets de matière active nouvelle, après la désagrégation de la matière active primitive ; les plaques à pastille, au contraire, devant être remplacées complètement.

Au concours international d'accumulateurs de l'Automobile-Club, la Société de Métaux a présenté une batterie dont les éléments hétérogènes : la positive du genre Planté et la négative est à oxydes rapportés.

La figure 103 représente une portion de la plaque positive, qui est constituée par la superposition de rubans de plomb ondulés. Ces rubans en plomb de $0^{mm},5$ d'épaisseur et 8 millimètres de largeur, sont enfilés sur deux tiges de plomb, qui divisent la plaque en trois parties égales dans le sens de sa largeur. A l'endroit où les tiges de plomb traversent les

rubans, ceux-ci sont renforcés sur une longueur de 6 millimètres environ par de petites pièces de plomb, qui servent en même temps à maintenir un écartement convenable entre les rubans successifs. Sur le bord de la plaque opposé à la queue de connexion, chaque ruban porte encore un renforcement analogue, et tous ceux-ci sont soudés ensemble de façon à

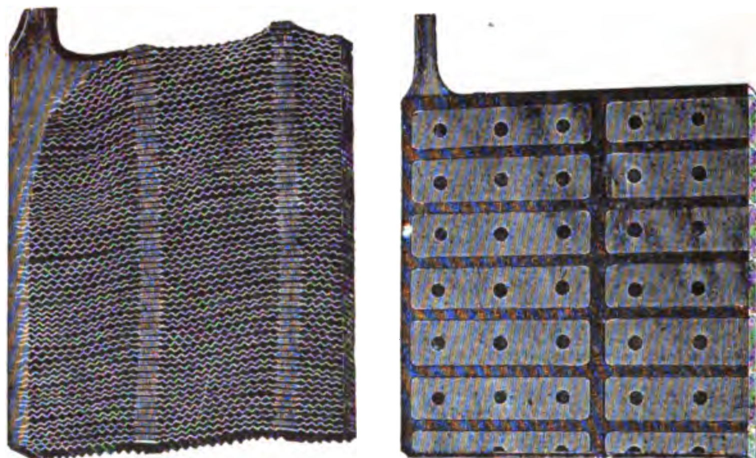


Fig. 103 et 104.

constituer un des montants de la plaque; sur le côté de la queue, les rubans sont noyés dans une soudure bien plus forte, d'environ 4 à 5 millimètres de largeur, qui forme le second montant. Enfin l'ensemble des rubans est maintenu serré dans l'intervalle entre ces deux montants par de légères soudures, qui fixent chaque extrémité des deux tiges aux rubans supérieurs et inférieurs. Le nombre des rubans superposés est de cent vingt, d'une longueur utile de 120 millimètres environ. La surface active de cette plaque est de 25 décimètres carrés. Comme l'élément comporte sept plaques semblables, la surface active totale pour le débit de 120 ampères-heure est de 1^{m2},58, ce qui correspond, pour une décharge normale de 120 ampères-heure, à 0,76 ampères-heure par décimètre carré de surface active. La plaque négative est formée d'un quadrillage en plomb antimonié, dont la figure 104 est un fragment

divisé en deux parties égales. Chacune de ces deux parties est divisée elle-même par des traverses horizontales. Les cellules reçoivent les pastilles qui y sont encastrées; lesquelles sont percées de trois trous.

Les pastilles sont en chlorure de plomb fondu et coulé; le quadrillage est coulé autour de ces pastilles de façon à les réunir.

NOTE SUR LA CONSTRUCTION DES ACCUMULATEURS PULVIS A LA POUDRE DE PLOMB DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ÉLECTRICITÉ

Le principe de l'accumulateur Pulvis est basé sur l'emploi de poudre de plomb pur impalpable, fabriquée par un procédé mécanique et mélangée avec un corps inerte très poreux (la pierre ponce).

On a cherché, dans l'accumulateur Pulvis, à constituer un

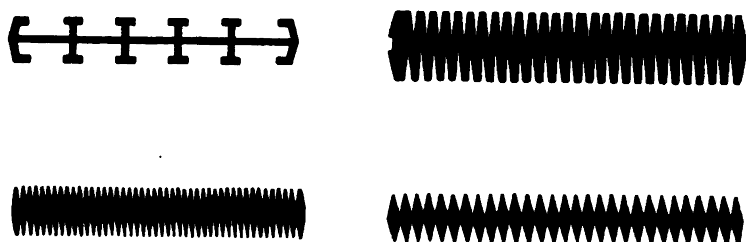


FIG. 105 à 108.

type mixte, à formation Planté, et en conservant autant que possible les avantages industriels des accumulateurs à oxydes.

La plaque se compose essentiellement d'un support en plomb doux, et d'une matière active rapportée. Les supports sont constitués de rubans indépendants placés dans le sens horizontal, et réunis à leurs deux extrémités par des connexions effectuées à la soudure autogène dans des lingotières. On laisse entre ces rubans un jeu de quelques millimètres, suffisant pour la dilatation des plaques dans le sens vertical et qui présente l'avantage d'empêcher que le liquide soit séparé en tranches de densités différentes, ainsi que cela se produit avec les plaques pleines et surtout quand les bacs sont profonds.

En principe, le ruban est composé d'une âme pourvue, sur

ses deux faces, de saillies dont la forme varie suivant l'appli-

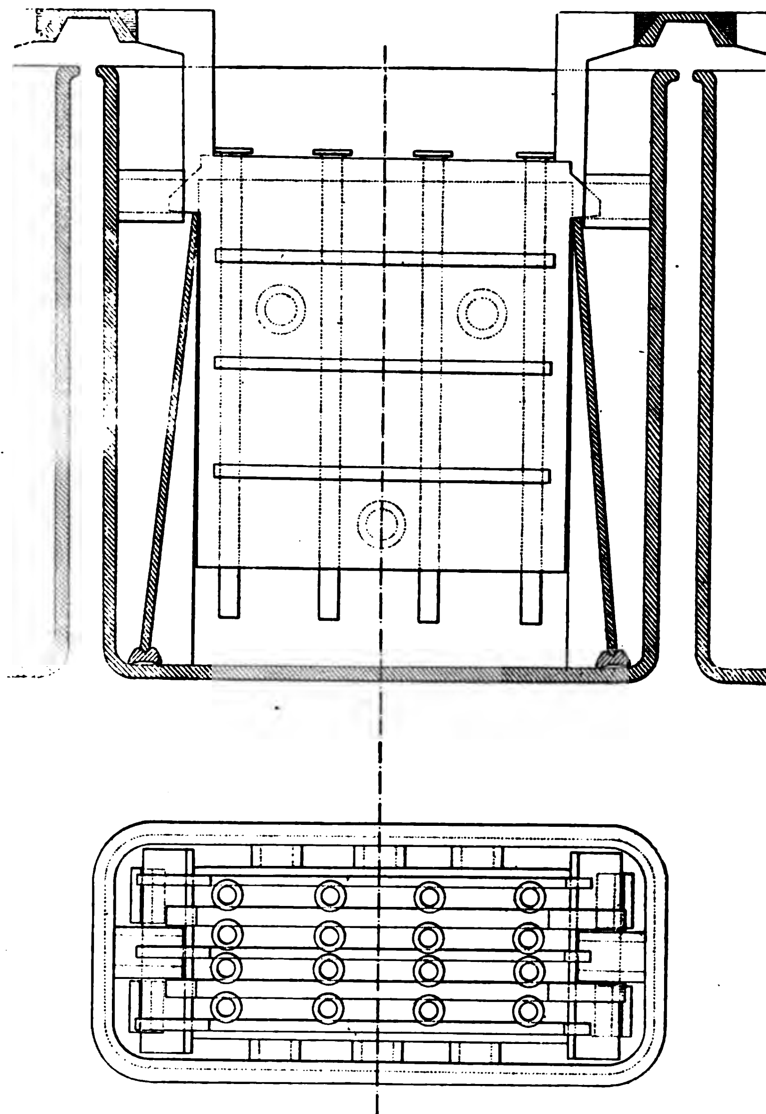


Fig. 109 et 110.

cation prévue. Pour les plaques positives, les saillies ont une forme trapézoïdale et triangulaire et sont rapprochées de façon

à présenter une surface développée considérable ; pour les négatives, l'importance du support est moins grande ; les saillies en forme de queue d'aronde sont plus espacées. — Il s'ensuit tout naturellement que, dans les négatives, la proportion de matière active est plus forte que dans les positives. — Cette manière de faire s'explique par ce fait que les négatives s'usent beaucoup plus lentement que les positives, et ne nécessitent pas, par conséquent, un support aussi robuste.

La Compagnie générale d'Électricité possède des brevets pour la pulvérisation des métaux, et *c'est le plomb en poudre* qu'elle emploie comme matière active. — Pour le rendre plus perméable à l'action de l'électrolyte, elle le mélange de pierre ponce : la surface active, donc la capacité, est ainsi très sensiblement accrue.

Cette matière active a l'avantage de se dilater par la formation ; elle pénètre donc parfaitement la pierre ponce et remplit les intervalles ménagés entre les rainures du support. Les matières actives provenant de la litharge ou du minium se contractent, au contraire, à la formation ; cette contraction a le double inconvénient de diminuer les surfaces de contact, donc la capacité, et de provoquer des chutes de matière hors des alvéoles dans lesquelles elle était contenue.

Les plaques d'accumulateurs sont généralement fabriquées en coulant le plomb dans des moules. La construction des plaques Pulvis a un principe tout différent, le refoulement du plomb à la presse hydraulique à travers une filière de forme appropriée ; le ruban sort de la presse en longueur indéfinie ; il est coupé en tronçons de dimensions convenables, et ces morceaux, réunis à la soudure autogène dans un cadre en plomb doux, constituent le support. — Le métal ainsi obtenu est beaucoup plus homogène et compact que dans les plaques coulées.

La masse active, très poreuse, est facilement pénétrable à l'électrolyte ; il en résulte de ce fait la faculté de soumettre l'élément à de violents régimes de charge et de décharge, en conservant un bon rendement, et sans que la matière active subisse une trop grande dislocation.

ACCUMULATEUR POLLAK

Les plaques de cet élément sont toutes deux du même type à empâtage sur feuilles de plomb doux façonnées. On les obtient en faisant passer entre les cylindres d'un laminoir de construction spéciale des bandes de plomb de longueur convenable. A la sortie de ce laminoir, les bandes présentent l'aspect d'une grosse râpe formée d'une quantité d'aspérités régulières et traversées en long et en large par des arêtes qui divisent la plaque en portions rectangulaires.

Les bandes de plomb sont découpées en plaques de dimensions voulues, puis on soude les appendices pour la prise du

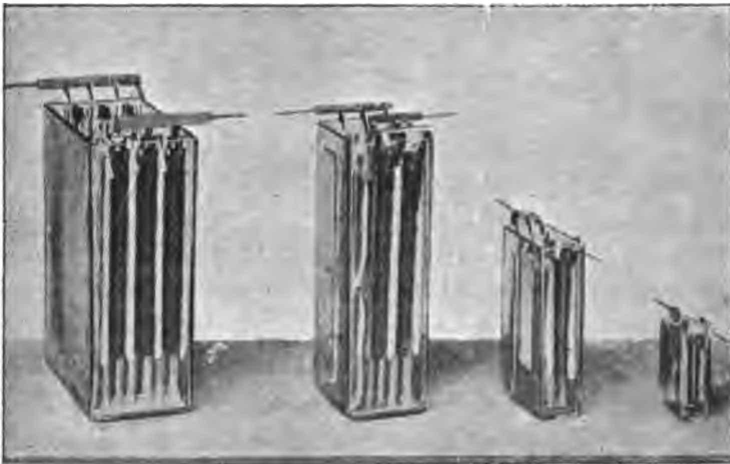


Fig. 111.

courant et la suspension des plaques dans les vases. On empâte alors la plaque, après quoi on la lamine de façon à rabattre, dans la matière active, les griffes relevées par le premier laminage. Cette opération rend la plaque lisse, et sa surface laisse apparaître la feuille de plomb, qui subira extérieurement la formation Planté.

Cette plaque peut être considérée comme mixte, car le plomb qui la constitue se forme comme dans les plaques à formation autogène, et cette formation contribue à assurer la capacité de la plaque concurremment avec les oxydes qui y sont déposés et comprimés. La formation a lieu de la manière ordinaire par l'action du courant sur les plaques positives placées dans un bain d'acide sulfurique dilué, qui transforme le plomb poreux en peroxyde de plomb.

Montage. — Dans les éléments de grandes dimensions, les électrodes sont composées de plusieurs plaques, deux ou quatre.

Les électrodes composées de deux plaques sont supportées par des tubes en verre, et les deux plaques sont reliées par une

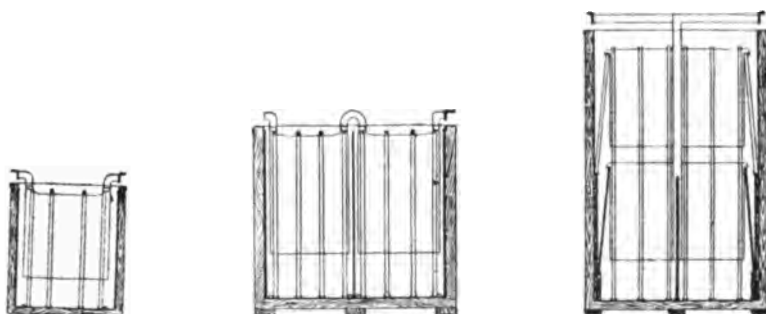


Fig. 112, 113 et 114.

bande de plomb en forme de demi-cercle. Dans le cas de quatre plaques, elles sont disposées symétriquement des deux côtés d'une bande prismatique de plomb servant à conduire le courant et avec laquelle elles sont reliées par un des angles supérieurs. D'autre part, elles sont suspendues par de forts appendices sur des tubes de verre qui reposent dans une rainure pratiquée dans une saillie de la paroi du récipient ; les plaques inférieures sont appuyées sur des feuilles de verre. La distance entre les plaques supérieures et inférieures est assez grande. L'isolement des plaques entre elles est assuré par des tubes de verre retenus par des pincettes soudées aux plaques négatives. De cette disposition résulte une distribution uniforme

sur tout le fond du récipient du poids de ces grands éléments, ainsi qu'une répartition symétrique du courant.

Les dessins schématiques de la figure 172 donnent un exemple des différents montages dans les récipients en bois doublés de plomb.

La figure 111 représente le montage d'éléments du type S dans des vases en verre et de petits modèles pour laboratoires.

Des courbes de la figure 115 indiquent la marche de la tension

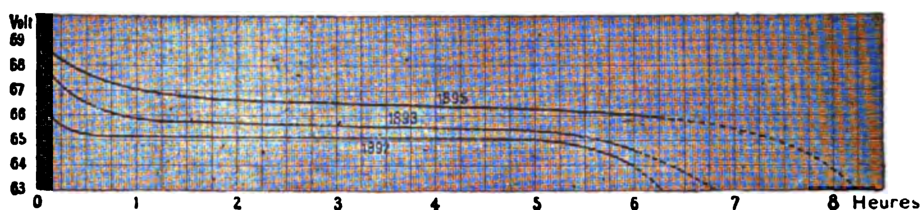


Fig. 115.

dans trois décharges d'une batterie de 35 éléments S. G. La batterie fut mise en marche, le 15 juillet 1892; la première épreuve de décharge faite le 23 juillet 1892; la seconde, le 8 août 1893; et la troisième, le 20 avril 1895. Le courant de décharge dans les trois cas était de 27 ampères.

ACCUMULATEUR DE M. G.-R. BLOT

Les plaques sont formées par une série de navettes, portant, comme le montre la figure 117, enroulées autour de leur âme *aa*, deux rubans C et D de $0^{mm},5$ d'épaisseur, l'un D en plomb pur gaufré et strié, l'autre C en métal moins oxydable ou en plomb pur gaufré seulement.

Les âmes des navettes sont en métal non formable et soudées au cadre, constitué également par du plomb non attaquable (*fig.* 117). Cette ingénieuse disposition, qui permet une grande surface active avec un faible poids de plomb ($0^{m2},333$ par kilogramme d'électrode), donne une porosité conductrice, grâce à l'extrême division de la matière.

Les navettes, constituées comme le montre la figure 117, sont sciées en deux parties égales suivant la droite *ab*, et chaque partie forme la navette élémentaire qui permet le montage d'un type quelconque de plaque. La figure 116 indique le montage d'une plaque, composée de quatre navettes élémentaires, qui constitue le type demi-plaque unitaire. Les soudures S (en



Fig. 116. — Plaque 1/2 unitaire.

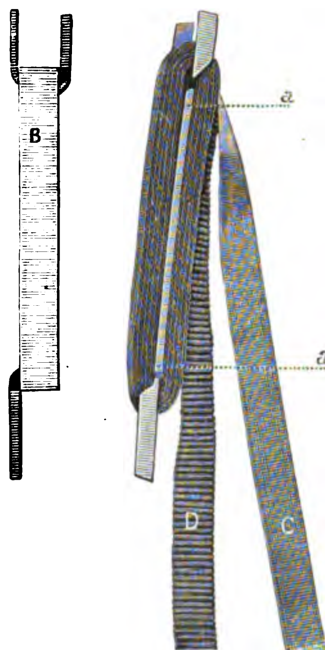


Fig. 117. — Enroulement de la navette.

métal non formable) maintiennent l'âme des navettes sur le cadre MNOP; les soudures S', également en métal inoxydable, ne subissent aucune altération après une marche prolongée de l'élément. La disposition de navettes indiquée figure 116 dans le cadre MNOP nous montre la plaque libre de se dilater de haut en bas et latéralement; les rubans peuvent foisonner entre eux; ils augmentent librement d'épaisseur et de longueur; mais le cadre conserve toujours sa forme géométrique initiale. Les

expériences ont démontré ce fait que l'élément déchargé à un

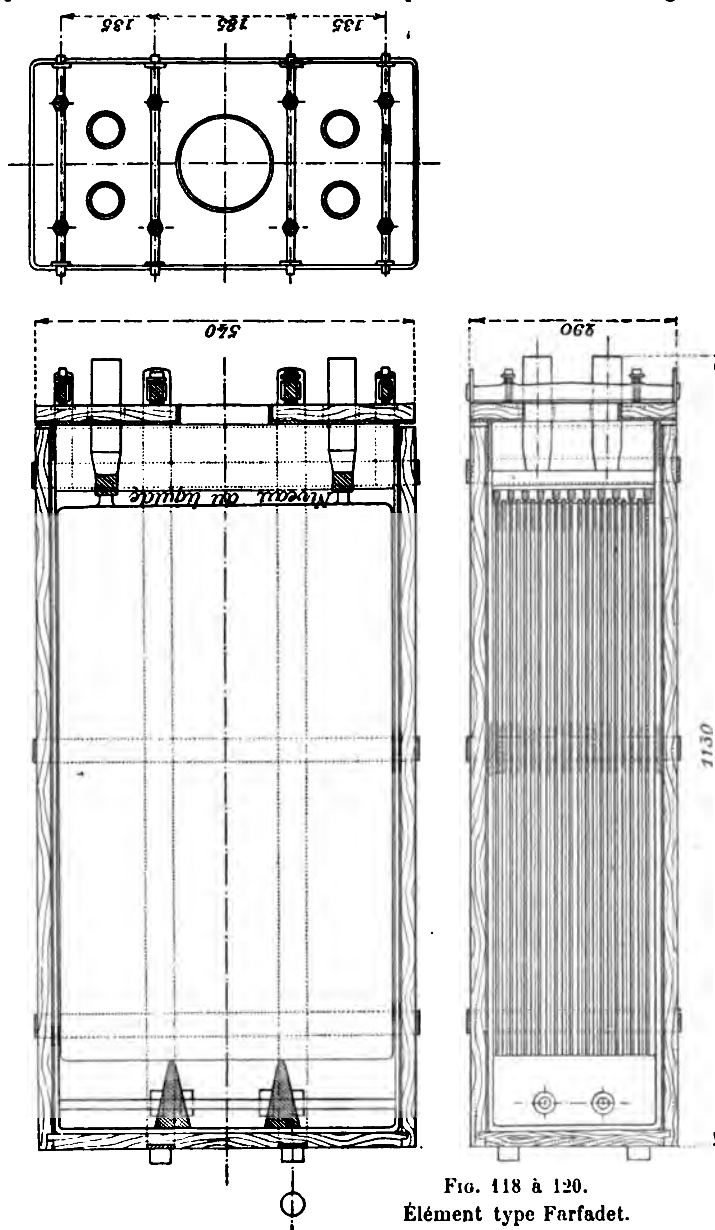


Fig. 118 à 120.
Élément type Farfadet.

régime quelconque, jusqu'au court-circuit, n'accuse pas la

moindre déformation. Les figures 118 à 120 représentent le type d'élément Farfadet.

Suspension des plaques

Un des points importants du système est l'ingénieux dispositif qu'emploie M. Blot pour suspendre les plaques dans les vases. Les plaques constituées, comme l'indique la figure 116, sont soutenues par leur partie supérieure à l'intérieur du liquide, à l'aide d'un double cadre en plomb dur maintenu à l'écartement voulu par deux tiges de plomb filetées *t* fixées par des boulons *b*. Ces deux cadres *c*, *c* portent à leurs extrémités inférieures des encoches *e*, qui permettent d'y placer deux lames de verre *v*, sur les bords desquels viendront se poser les talons des cadres. Les plaques sont séparées les unes des autres par des tubes de verre maintenus verticaux entre deux lames de verre reposant sur les cadres des navettes. Les connexions entre les plaques de même polarité sont assurées par des barres de plomb antimonié, de section suffisante, soudées aux queues des plaques. Tout ce système est immergé dans l'électrolyte, de façon à ce qu'il ne sorte du liquide que deux tiges terminales coudées permettant de prendre contact. Ce montage évite toute dérivation de courant entre les plaques. Un espace de plusieurs centimètres est toujours laissé entre la partie inférieure des plaques et le fond du vase, afin, d'une part, de laisser libre la chute de matière active dans le cas où elle se produirait; d'autre part, de constituer une réserve d'électrolyte.

ACCUMULATEUR BLOT-FULMEN

Cet élément est composé de plaques de deux types différents. La positive est du type Blot à navette à formation autogène genre Planté, et la négative est à pastilles du type Fulmen, au concours de l'Automobile-Club. Les accumulateurs Blot-Fulmen qui ont été présentés avaient les caractéristiques suivantes :

La plaque positive est formée de 6 navettes horizontales soudées à un cadre en plomb antimonié. La largeur du cadre est supérieure à la longueur des navettes pour permettre la dilatation.

Les navettes sont composées de huit rubans lisses intercalés entre huit rubans ondulés qui maintiennent l'écartement convenable, la longueur des navettes étant de 105 millimètres, celle des rubans de 210 millimètres sur 8 millimètres de largeur. La surface active de chaque navette est de 5 décimètres carrés environ. Comme il y a 6 navettes, la surface totale d'une plaque est de 30 décimètres carrés environ, et la surface des 6 plaques d'un élément est de 1^{m2},78. Cette surface correspond à une capacité de 0,67 ampère-heure par décimètre carré, pour une capacité totale de 120 ampères-heures.

Montage. — Les plaques de même polarité sont réunies par une traverse en plomb antimonié pénétrant dans les encoches que portent les queues.

L'ensemble des plaques repose sur un cadre en ébonite placé au fond du bac.

Des lames en ébonite perforée et ondulée assurent l'isolation des plaques.

ACCUMULATEUR FULMEN

Les plaques de l'élément Fulmen sont à pastilles emprisonnées dans un grillage en plomb antimonié.

Le grillage de la positive (*fig.* 121) est formé par l'assemblage de deux grilles identiques dont les séparations ont une section en forme de trapèze, et l'accolage est fait de telle sorte que les petites faces des trapèzes soient en contact et forment ainsi une série de trous rectangulaires plus petits sur chaque face de la plaque pour maintenir la matière active emprisonnée.

Les cloisons constituant la grille ont une largeur qui varie avec les dimensions de celle-ci; elles sont apparentes, ainsi que le cadre extérieur. Aux points de rencontre de ces cloisons, existe un renforcement.

Le grillage de la négative (*fig.* 122) est identique au précédent ; mais il n'a pas de renforcement aux angles des cloisons ; sur chaque pastille se trouve un petit quadrillage très léger de 0mm,5 d'épaisseur, qui divise la surface de la pastille et maintient la matière active.

La partie supérieure du cadre des deux plaques a une largeur

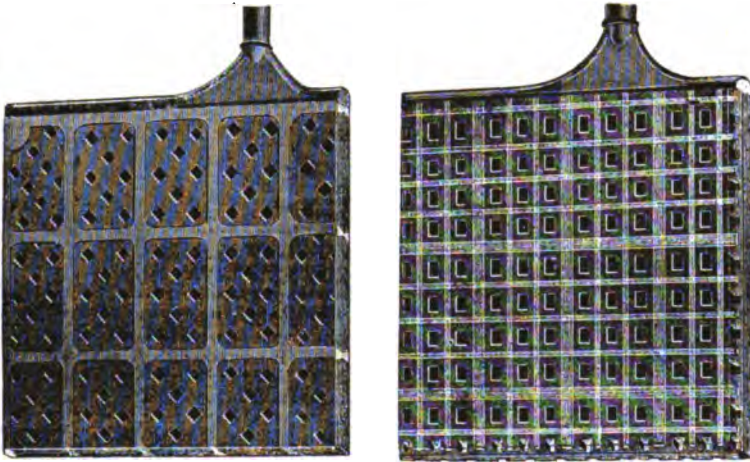


Fig. 121 et 122.

un peu supérieure aux autres côtés ; elle porte une tige de plomb antimonié à section circulaire au bout de laquelle se fait la connexion.

Les plaques de même polarité sont soudées à une barre de plomb antimonié. L'empâtage de ces plaques est fait de façon à laisser toutes les divisions de la grille ainsi que les cadres en saillie de la matière active.

Montage. — Les plaques sont maintenues à distance du fond du bac par des tasseaux en caoutchouc d'une section triangulaire légèrement tronquée, dont la grande base est en caoutchouc dur et le sommet en caoutchouc souple.

Des feuilles en ébonite ondulée et perforée, placée entre les plaques, assurent leur écartement.

Le poids de l'électrolyte correspond à 736 grammes d'acide libre (SO^4H^2).

ACCUMULATEUR PHÉNIX

Cet élément est formé d'une série de petits cylindres, de section extrêmement petite. Chacun de ces cylindres est constitué par plusieurs cylindres élémentaires soudés bout à bout (*fig.* 123).

Chaque cylindre élémentaire est formé d'une tige en plomb antimonié de 2 millimètres de diamètre, et de 7 centimètres

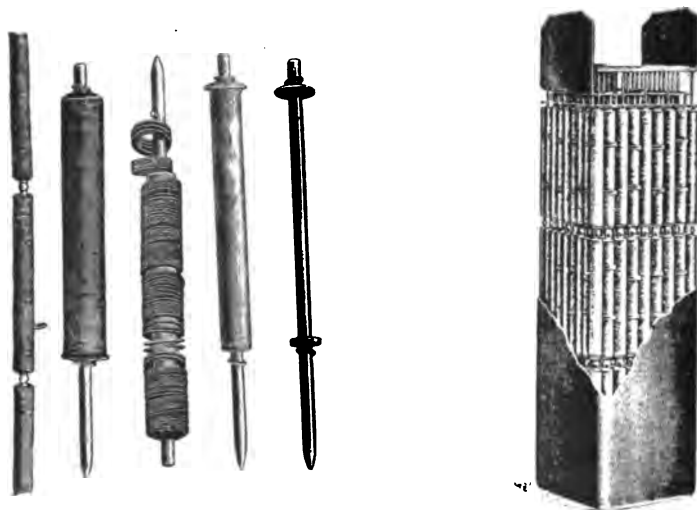


Fig. 123 et 124.

de longeur entre les deux épaulements qu'elle porte en haut et en bas; la tige se prolonge au-delà des épaulements, afin de faciliter la soudure. Cette tige est d'abord recouverte entre les deux épaulements d'un empâtage de matière active de 6 millimètres de diamètre; des rondelles en ébonite de 3 millimètres d'épaisseur et 1 millimètre de hauteur sont ensuite empilées les unes sur les autres et recouvrent complètement le cylindre dans toute sa hauteur; ces rondelles reposent sur

l'épaulement inférieur, qui est légèrement plus grand que le diamètre de la matière active.

Les cylindres positifs et négatifs sont absolument identiques comme construction. Le montage de cet élément offre quelque particularité : tous les chapelets de cylindres constituant l'élément sont soudés, les positifs à une plaque, les négatifs à une autre plaque. Ces plaques, en plomb antimonié, sont superposées, la positive étant placée au dessus ; et comme elles sont de mêmes dimensions, puisque les cylindres sont réunis en quinconce, en alternant positif et négatif, la plaque inférieure est percée de trous pour laisser passer les cylindres de polarité contraire à celle des cylindres qu'elle doit réunir électriquement. Chacune des plaques porte, en outre, autant de petits trous du diamètre des âmes des cylindres qu'il y a de chapelets de cylindres pour constituer l'élément. Une plaquette d'ébonite percée de trous pour laisser passer les cylindres repose sur la partie supérieure des chapelets.

Les parties inférieures des tiges pénètrent dans les trous d'une plaquette identique, qui est maintenue en place par des grains de soudure placés à l'extrémité de chaque tige.

Le bac est en ébonite unie ; il ne porte pas de couvercle ; mais la fermeture est assurée par une couche de paraffine coulée sur les plaques, une fois que l'élément est complètement monté ; cette couche de paraffine est percée d'un trou pour l'évacuation des gaz à la charge.

COMPARAISON ENTRE LES ACCUMULATEURS A SELS DE PLOMB RAPPORTÉS ET LES ACCUMULATEURS GENRE PLANTÉ [1]

« Les accumulateurs doivent réaliser certaines conditions de solidité, de durée et de capacité. Les accumulateurs à sels de plomb, quels qu'ils soient (pastilles ou alvéoles), sont mis rapidement hors d'usage par suite de l'hétérogénéité électrique du système. Les déformations mécaniques des accumulateurs

[1] *Considérations sur les accumulateurs*, présentées par M. G. Margaine.

à oxydes tiennent essentiellement au contact toujours imparfait qui met en communication l'électrode avec l'oxyde rapporté. Ce défaut initial de contact augmente fatalement avec le temps, par suite des travaux différents qu'auront à subir la matière active et l'électrode de plomb. Il se forme entre cette électrode et le peroxyde de plomb des bulles gazeuses mauvaises conductrices, qui, agissant comme levier entre le support et l'oxyde, activent leur séparation. La matière active tend donc à se séparer de son support, qui se déforme, et la plaque participe de moins en moins aux réactions électrolytiques. Le contact initialement mauvais devient de plus en plus défectueux; la lame de plomb se sulfate, et la matière active, chassée de ce support imparfait, tombe peu à peu. Si la matière ne tombe pas, l'accumulateur n'en sera pas moins en mauvais état, et sa capacité diminuera. »

« Ce premier point essentiel est donc établi, que l'accumulateur à sels de plomb rapportés non seulement ne peut augmenter de capacité, mais que celle-ci diminue avec la durée du fonctionnement; cet accumulateur présente sa capacité maxima après la formation, et celle-ci décroît en service. En effet, dans les accumulateurs à formation artificielle, la couche d'oxyde est toujours trop grande par rapport à la surface active de l'électrode. Ce défaut fondamental provient d'une fausse interprétation d'un principe posé par Planté, disant que la puissance d'emmagasinement de son élément dépendait de l'épaisseur des matières actives (peroxyde de plomb et plomb réduit). Ce principe n'est vrai que si la couche de matière active peut être utilisable dans toute son épaisseur. M. Faure constate lui-même[1] que l'action électrolytique n'a lieu que dans une faible proportion de la masse totale des couches (environ 10 0/0).

« J'attribue ceci, dit-il, à la résistance qu'offre une matière quasi solide, comme la mousse de plomb et ses oxydes, à la transmission de l'onde électrolytique; en fait, une partie considérable échappe à l'action du courant. » Cette appré-

[1] *Annales d'électricité*, 15 avril 1882.

ciation de l'auteur affirme l'erreur sur laquelle sont basés les accumulateurs à oxydes rapportés. D'après M. Faure, une épaisseur de $0^{mm},5$ seulement sur 5 millimètres d'épaisseur de la couche rapportée participe aux réactions électrolytiques. Nous verrons bientôt que ce nombre est encore plus élevé. La plus grande partie de la couche d'oxyde (90 0/0 d'après M. Faure), étant inutilisable, constitue un poids mort qui montre la mauvaise utilisation spécifique des accumulateurs à formation artificielle. L'infériorité de ces accumulateurs provient de ce que l'on a pu réaliser : 1° une adhérence suffisante entre la matière active et le support pour assurer au système une bonne conductibilité permanente ; 2° la proportion nécessaire d'oxyde à la surface conductrice.

« En résumé, en dehors des inconvénientsde fonctionnement signalés dans les accumulateurs à oxydes rapportés (crainte des surcharges, des surdécharges, des régimes élevés, du court-circuit, du foisonnement et de la destruction rapide des éléments), nous trouvons l'un des importants arguments de notre critique chez le précurseur de l'accumulateur à oxydes rapportés, M. Faure, qui constate en même temps la mauvaise utilisation spécifique de la matière active dans ce type d'élément.

« Les accumulateurs à formation artificielle sont de courte durée, ont leur capacité maxima après la formation ; le travail de dislocation commence lentement d'abord, puis rapidement, par suite des défauts inhérents à la constitution de l'élément signalé plus haut.

« Pour éviter ces inconvénients, nous devons constituer un type d'élément dans lequel il y ait contact intime entre la plaque et le peroxyde de plomb, ce qui n'a jamais lieu avec les oxydes rapportés, quels que soient les procédés en usage, dont plusieurs très ingénieux. La solution de ce point primordial réside dans la formation, par voie chimique ou électrolytique, de peroxyde de plomb sur la plaque même qui constitue l'électrode de l'élément. Le peroxyde de plomb, au lieu d'être juxtaposé mécaniquement à la plaque,

est constitué électro-chimiquement sur cette plaque, et adhère fortement à l'âme de plomb, aux dépens de laquelle il s'est formé; on peut alors forcer les régimes de charge et de décharge.

« C'est donc au genre Planté, qui réalise les meilleures conditions de conductibilité électrique, que l'on doit s'adresser pour obtenir un accumulateur rationnel. Un tel élément sera-t-il nécessairement à l'abri du foisonnement? Nous envisageons déjà que les déformations seront moins à craindre que les types à formation artificielle. Quelles que soient la forme, l'épaisseur et la disposition des électrodes, on ne peut empêcher le foisonnement. Pourquoi poser ce problème, impossible à résoudre dans la pratique? Ne pourrait-on pas diriger les déformations au lieu d'essayer en vain de les combattre? »

L'invention de l'accumulateur électrique par Gaston Planté date de 1859; elle a donc quarante et un ans, près d'un demi-siècle. En 1881, à l'apparition de l'accumulateur Faure, à oxydes de plomb à formation artificielle, rapide, le genre Planté fut délaissé, abandonné, et, pendant vingt années consécutives, des chercheurs de tous pays ont torturé le plomb; ils lui ont donné toutes les formes possibles et imaginables, de maintenir la matière active, d'augmenter le rendement et la durée des plaques sans y parvenir complètement, et après tant d'efforts, nous ne dirons pas dépensés en pure perte, car de notables perfectionnements ont été apportés aux accumulateurs à formation artificielle; mais il est au moins curieux, déconcertant même, de constater l'obligation, pour la plupart des inventeurs, de revenir au genre Planté, qui est perfectible par la forme, non par le principe. Cette simple constatation grandit encore l'invention de Planté.

MOTEUR ÉLECTRIQUE

Le moteur électrique est le moteur rotatif par excellence. Aussi, dès son apparition, a-t-il été appliqué à la navigation sous-marine. L'état actuel de la science et des arts méca-

niques permet de construire des électromoteurs de 500 à 1.000 chevaux, fonctionnant dans les deux sens avec la plus grande facilité, à des vitesses différentes, suivant le groupement des accumulateurs.

Le bateau sous-marin doit fournir des vitesses très différentes ; dans certains cas, la vitesse doit être extrêmement réduite pour franchir en immersion des passes difficiles ; au contraire, la vitesse doit être la plus grande possible pour fuir et sortir de la zone dangereuse au moment du lancement et de l'explosion d'une torpille. Dans les sous-marins autonomes, pour obtenir l'échelle des vitesses pendant la navigation à la surface, les moteurs auxiliaires doivent être munis de dispositifs leur permettant de tourner à des allures différentes.

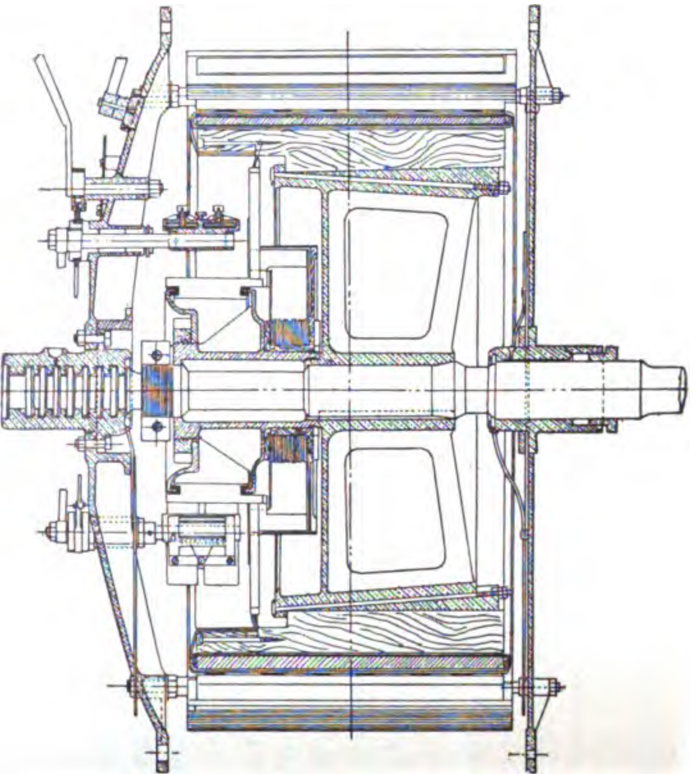
Pour les moteurs alimentés par la vapeur ou l'air comprimé, les variations de vitesse s'obtiennent très simplement, soit en ouvrant plus ou moins le robinet d'admission, soit en déplaçant la coulisse du changement de marche.

Pour des moteurs alimentés par des générateurs à pression nulle, tels que les moteurs à pétrole ou à gaz, les changements de vitesse s'obtiennent au moyen de dispositifs faisant varier la compression préalable des gaz et en même temps leur détente ; en faisant varier les moments d'inflammation, ou bien encore dans les moteurs multicylindriques en retirant du circuit un ou plusieurs groupes de cylindres.

Pendant la navigation en immersion complète et en adoptant le moteur électrique comme moteur d'immersion, l'échelle des vitesses peut être obtenue de diverses façons; suivant que nous emploierons, pour actionner l'hélice, un ou deux moteurs, nous nous servirons ensuite des diverses combinaisons de groupement des accumulateurs.

Dans le cas de l'emploi de deux électromoteurs, manchonnés sur le même arbre d'hélice, nous aurons la faculté de les coupler en tension ou en quantité, suivant les schémas des figures 127 et 128).

Les électromoteurs dans ce cas sont munis de balais doubles, ce qui nécessite l'allongement du collecteur ; mais cette dispo-



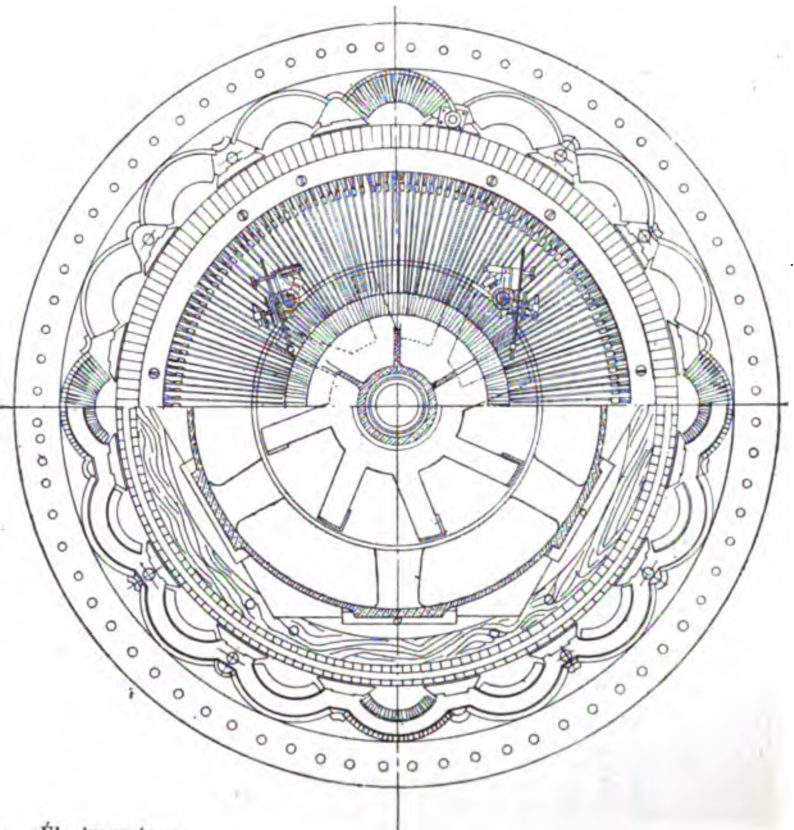


Fig. 125 et 126. — Électromoteur.

sition permet de faire varier la différence de potentiel de 50 0/0, en tournant un commutateur; ensuite, par la manœuvre d'un coupleur *c*, il sera facile de grouper la batterie pour les

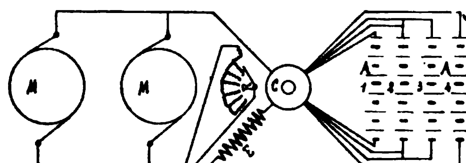


FIG. 127.

différences de potentiel suivantes, 50, 100, 150 et 200 volts.

L'échelle des vitesses sera suffisamment étendue pour satisfaire au fonctionnement du sous-marin, en employant les

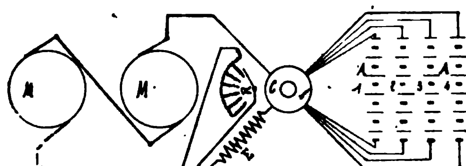


FIG. 128.

quatre combinaisons ci-dessus et en couplant les deux électromoteurs en tension ou en quantité, ou en retirant un des deux électromoteurs du circuit.

ÉLECTROMOTEUR DU *GYMNOTE*

Le premier moteur du *Gymnote* a été construit d'après les indications du commandant Krebs, qui fut le collaborateur du commandant Renard, à Challais-Meudon, dans l'étude et la construction du ballon dirigeable *la France*.

Il absorbait 52 chevaux électriques (500 ampères et 192 volts utiles aux bornes), à la vitesse angulaire de 280 tours par minute. Pour obtenir une aussi faible vitesse angulaire,

M. Krebs a constitué l'induit de son moteur par un anneau de 1 mètre de diamètre au milieu d'une couronne de seize inducteurs ; le collecteur était à quatre balais, deux pour la marche en avant, deux pour la marche en arrière ; le poids total du

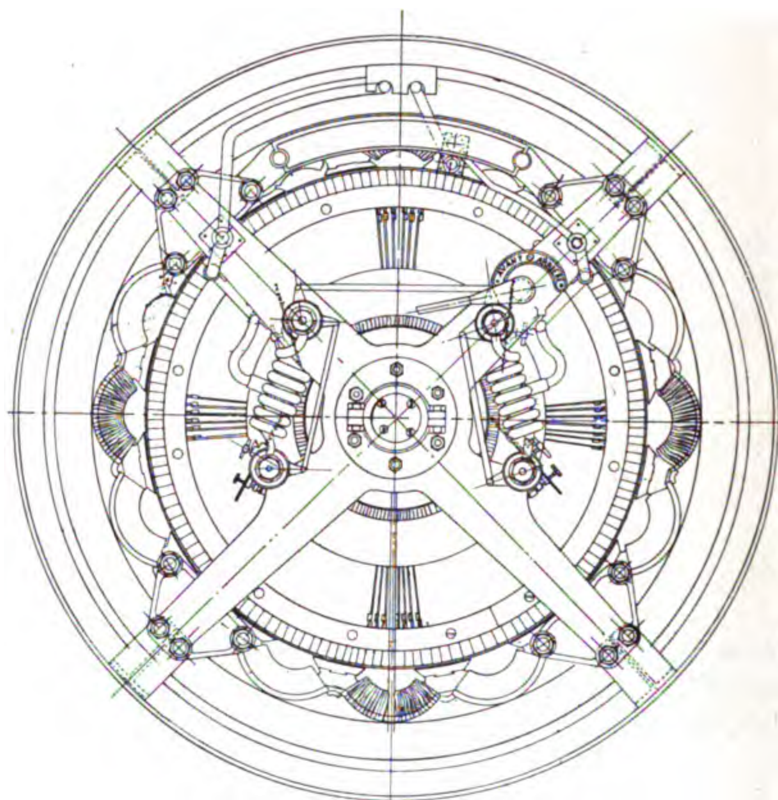


Fig. 129. — Électromoteur du *Gymnote*.

moteur était de 2.000 kilogrammes, 40 kilogrammes par cheval électrique.

L'énergie électrique était fournie à ce moteur par une batterie de 564 accumulateurs Commelin, Desmazures et Baillache, à zinc, oxyde de cuivre et solution de potasse caustique. Le poids de la batterie complète était de 9.840 kilogrammes, $17^{kg},5$, par accumulateur.

Un commutateur permettait de coupler les 564 accumulateurs de quatre manières différentes, correspondant respectivement à la petite vitesse, à la vitesse moyenne, à la vitesse de route et à la grande vitesse, suivant le tableau ci-dessous :

	Nombre d'accumulateurs en série.	Nombre de séries en quantité.
1° Petite vitesse..................	47	12
2° Moyenne vitesse...............	94	6
3° Vitesse de route...............	141	4
4° Grande vitesse.................	282	2

Les accumulateurs ont été remplacés après un certain temps d'expériences, par 540 accumulateurs Laurent-Cély. Ce premier moteur de M. Krebs fut aussi remplacé ; il fut installé à bord d'un canot de 8^{m},85, qui fait un service dans le port de Toulon.

D'après les chiffres que nous venons de donner plus haut, en ce qui concerne la force motrice uniquement fournie par l'électricité, nous voyons par cet aperçu sommaire que le sous-marin aura un rayon d'action bien restreint.

Considérant le véhicule sous-marin comme un véritable automobile de mer, nous nous référons aux observations de notre éminent confrère, M. de Lavalette :

Tout véhicule automoteur doit pouvoir emmagasiner en lui-même une quantité d'énergie suffisante pour franchir l'étape qui sépare deux points consécutifs de ravitaillement.

Plus ces deux points sont éloignés, plus la voiture peut parcourir de chemin sans renouveler sa puissance automotrice, plus la solution se rapproche du but à atteindre.

D'ailleurs, en question de traction mécanique sur route, le côté économique peut être placé au second rang ; ce qu'on cherche principalement, ce sont : la solidité, la sécurité, la vitesse, le confortable et bien souvent la légèreté.

Or, dans tout automobile, il faut distinguer trois choses : le véhicule, le moteur, le générateur d'énergie.

Le véhicule proprement dit, dont le poids dépend évidem-

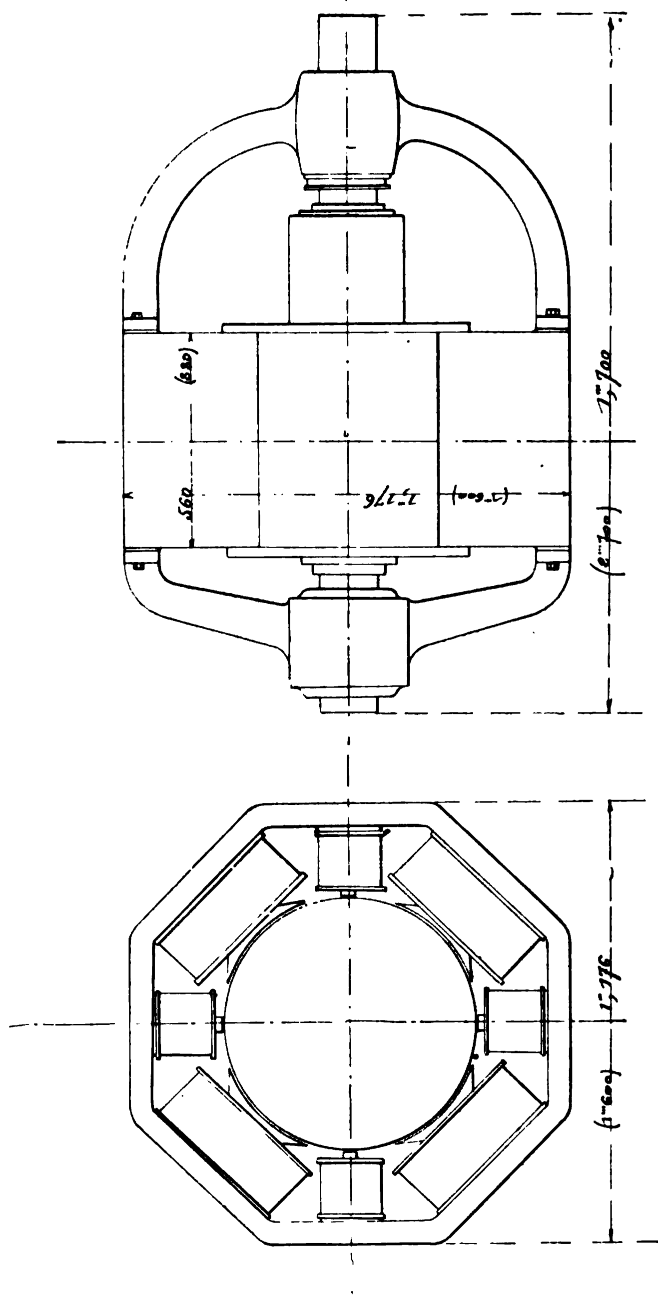


Fig. 130 et 131. — Schéma d'un électromoteur 150.000 watts.

ment de la grandeur de la voiture, du nombre de places, de la nature de la caisse et de la force du châssis, peut être considéré comme à peu près identique à grandeurs égales, quel que soit le système :

Le moteur offre plus de différence suivant les systèmes et, à ce point de vue, la machine électrique ne figure pas dans un mauvais rang, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

	Système	Poids par cheval.
Vapeur	Chaudières multitubulaires et moteurs-pilons.	100 à 150 kil.
	Chaudières Serpollet ou de Dion avec leur moteur.	35 à 40 —
Pétrole	Moteurs divers	40 à 80 —
Air comprimé	Moteurs	350 à 400 —
Electricité	Moteurs	30 à 35 —

Malgré tous ces avantages, l'électricité refuse, jusqu'à présent, du moins, de nous donner la solution tout entière de la navigation sous-marine. Elle donne la force nécessaire pour effectuer un faible parcours, puis, épuisée, elle refuse ses services. Il faut donc recharger les accumulateurs ; c'est là qu'une autre force lui servira d'auxiliaire et, tout en permettant de continuer la marche en avant, rendra l'énergie à ses organes épuisés.

CHAUDIÈRES A COMBUSTION SOUS PRESSION

La première tentative vraiment sérieuse en ce qui concerne ce genre de force motrice pour la navigation sous-marine est celle du D[r] Payerne, pharmacien de 1[re] classe de la Marine, qui, le premier, tenta, en 1845, d'installer sa chaudière dite chaudière pyrotechnique, de façon qu'elle puisse fonctionner en chambre close sous l'eau aussi bien qu'à la surface.

Cette chaudière qui a été, du reste, expérimentée au Conservatoire des Arts et Métiers, n'a pas donné les résultats qu'en attendait l'auteur. Nous en trouvons la description complète dant *l'Art naval à l'Exposition de* 1869, par l'amiral Pâris, d'après une note communiquée par l'inventeur.

De même M. d'Allest, ingénieur des anciens établissements Fraissinet, a proposé, il y a une dizaine d'années ,d'installer à bord des sous-marins une chaudière alimentée par du combustible liquide, pour pouvoir également marcher sous l'eau en vase clos. Cette chaudière, qui a été construite, figurait à l'Exposition Universelle de 1889.

Quelques inventeurs, notamment M. Nordenfelt, n'étant pas partisans d'obtenir la force motrice par l'électricité, comme étant un agent trop capricieux et trop difficile à emmagasiner, ont eu l'idée, ainsi que nous le verrons dans le cours de cet ouvrage, d'installer à bord une chaudière à très haute pression, brûlant, comme d'habitude, pendant la marche à la surface de l'anthracite ou tout autre combustible ; ensuite, au moyen du tirage forcé, on faisait une provision de vapeur surchauffée. qui était ensuite emmagasinée dans un réservoir d'eau bouillante. Au moment de plonger, on fermait hermétiquement le foyer, ainsi que la cheminée, et on marchait ensuite avec les réservoirs. Cette provision a permis de parcourir une distance de 16 milles marins, la vitesse ne dépassant pas 8 nœuds.

Chaudières a combustion sous-pression du Dr Payerne

M. le Dr Payerne, pharmacien de 1re classe de la Marine, qui avait déjà fait des essais de navigation sous-marine, a eu l'idée de résoudre la partie la plus difficile d'un moteur immergé, c'est-à-dire la production de la vapeur. Son premier appareil n'avait pas de cheminée; mais les résidus gazeux de la combustion obtenue, comme il sera dit plus loin, se mêlaient à la vapeur produite dans la chaudière et lui ajoutaient leur propre tension. Après leur passage dans les cylindres, ils s'échappaient avec la vapeur à travers l'eau extérieure. Voici comment s'opérait le mélange de la vapeur et de la fumée qui, bien que séduisant en théorie, n'a pas donné des résultats pratiques satisfaisants. Indépendamment d'un robinet dont la clef n'avait qu'une cavité en cul-de-sac pour recevoir et verser le combustible dans le foyer, l'appareil de chauffe se composait de deux

cylindres creux en tôle, égaux en longueur, mais inégaux en diamètre et placés excentriquement l'un dans l'autre. Leurs bases étaient rivées sur un fond commun, et la capacité entre eux, suivant la section verticale, formait un croissant dont les cornes étaient tournées vers le sol. Près du point de contact du petit cylindre avec le grand, une rangée de trous mettait en communication les capacités de chacun d'eux. Une caisse métallique, introduite dans le petit cylindre, recevait le combustible tombant du robinet d'alimentation. Les deux cylindres étant à moitié pleins d'eau, on mettait le feu au combustible, et voici ce qui se passait : La fumée, par sa tension faisait baisser le niveau de l'eau dans le petit cylindre au profit du grand, et, par les rangées de trous, s'échappait dans la cavité du croissant où M. Payerne pensait qu'elle se laverait avant de monter dans la chambre de vapeur, d'où elle devait se rendre concurremment avec celle-ci, sous le piston de la machine pour le mettre en marche. Mais, moins lavée qu'on ne l'espérait, la fumée encrassait le cylindre et nécessitait des démontages fréquents. Bien qu'il crût à la possibilité de l'emploi de la fumée, M. Payerne a dû y renoncer pour un temps, et les divers combustibles expérimentés ont rencontré des difficultés non moins grandes.

Au début des expériences, le combustible était composé d'un azotate alcalin de soufre et de charbon végétal ou minéral séparément pulvérisés. Le soufre détériorait, perforait même la caisse dans laquelle la combustion s'opérait. Il a fallu y renoncer : la composition réduite aux deux autres matières encrassait dans son boisseau le robinet d'alimentation et le grippait. Alors M. Payerne a converti en boules le mélange des deux poudres ; l'encrassement a été ralenti, mais n'a pas disparu. Enfin l'idée lui est venue de renfermer l'azotate dans des boules creuses en bois sec substitué au charbon ; cette modification a répondu à son attente, et M. Payerne a trouvé que le poids du bois sec doit être à celui de l'azotate comme 28 à 100 pour celui à base de potasse, et de 35 à 100 pour celui à base de soude.

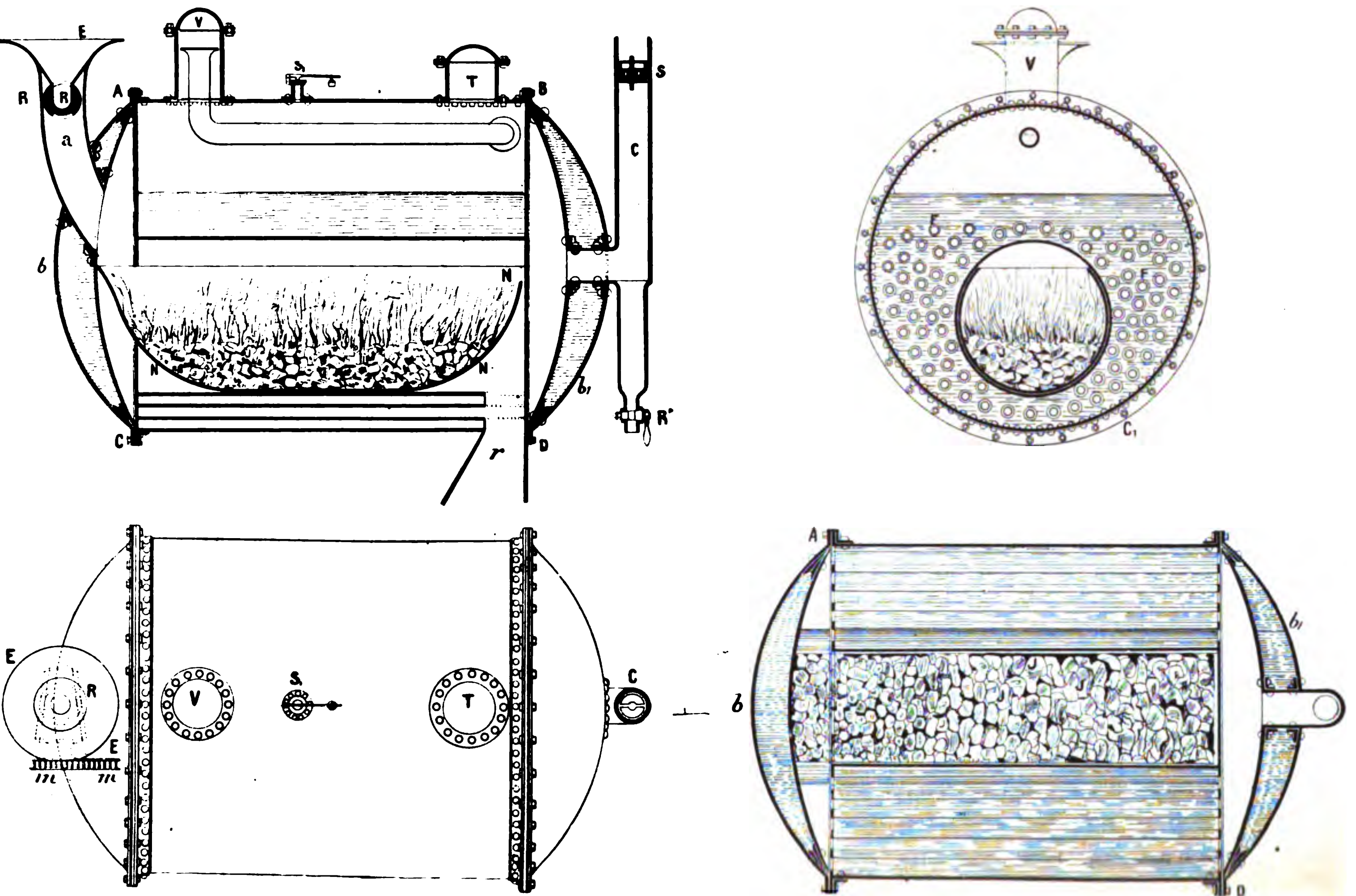


FIG. 132 à 135. — Chaudière du Dr Payerne.

Générateur actuel du Dr Payerne. — Le générateur du Dr Payerne est maintenant une chaudière tubulaire (*fig.* 132), ne différant des autres que par la boîte à feu, par la boîte à fumée et par la cheminée, qui est une dépendance de cette dernière, et, afin de mieux faire comprendre la disposition, voici d'abord la signification de chacune des lettres : BCD est le corps de la chaudière pyrotechnique; N, la boîte à feu; *a*, le conduit d'alimentation pour le combustible; R, tiroirs pour le passage des boules ; F, F, tubes; C, cheminée ; S, soupape pour la sortie de la fumée et pour s'opposer à la rentrée de l'eau extérieure; J, J, boules en bois remplies d'azotate; R′, robinet de vidange pour l'eau introduite accidentellement. La boîte à feu doit être étanche et munie d'une porte qui permette d'en retirer la caisse mobile dans laquelle la combustion s'opère et de la remplacer par une autre; cette porte permet aussi de ramoner les tubes quand il y a lieu. Le dôme de la boîte à feu est surmonté d'un tuyau muni de deux tiroirs, R, et dont la partie supérieure se termine en forme d'entonnoir pour recevoir un certain nombre de boules constituant le combustible; le tiroir qui y fait suite s'ouvre pour laisser passer une ou plusieurs boules, et il se referme avant l'ouverture du tiroir inférieur, qui les transmet dans la caisse du combustible. La boîte à fumée, également étanche et munie d'une porte pour nettoyer les tubes, est surmontée d'une cheminée garnie de deux soupapes S, destinées à laisser passer la fumée et à s'opposer à l'introduction de l'eau extérieure; à la partie inférieure de la même boîte à fumée, existe un robinet de décharge pour l'eau introduite.

A part ce que M. Payerne vient d'exposer au sujet du fonctionnement de la boîte à feu, de celle à fumée et de leurs dépendances, la chaudière tubulaire opère comme celles du même genre à l'air libre.

Il est possible et tout à fait probable qu'un serpentin aurait l'avantage d'utiliser une forte proportion du calorique développé au sein du foyer; mais, comme il n'a pas été fait d'expériences à ce point de vue, M. Payerne n'en parle que sous

réserve. Telle est la note que le Dr Payerne m'a envoyée avec les dessins des figures, et j'ai tenu à la transcrire, à cause de mon ignorance de la chimie et de l'avantage de présenter intactes les idées d'un inventeur sur une matière aussi nouvelle (amiral Pâris, *l'Art naval de l'Exposition de* 1867).

Voici la composition des boules, dont M. Payerne donnait la préférence à la deuxième formule :

1	Coke	165	1.000
	Azotate de soude	385	
2	Coke	145	1.000
	Azotate de potasse	855	

Chaudière a combustion sous-pression système d'Allest

1° *Description de la chaudière.* — La chaudière est formée d'une enveloppe cylindrique contenant un foyer A, un faisceau tubulaire B, et une boîte à fumée C, absolument étanche et construite de façon à pouvoir supporter une pression de 5 atmosphères. Sur la cheminée D, se trouve montée une boîte E, fermée à la partie supérieure par une solide porte à étrier F ; la même boîte porte une cheminée à bascule G, et une autre cheminée H, terminée par un clapet I et descendant dans l'eau à une profondeur quelconque.

L'entrée du foyer est fermée par une devanture en fonte K, faisant joint étanche ; une tubulure L permet à l'air arrivant par le tuyau M de pénétrer dans le foyer par les orifices N. Deux brûleurs à pétrole O, O, montés sur la façade, reçoivent du pétrole provenant du réservoir P, alimenté lui-même par un petit cheval puisant dans les soutes.

2° *Fonctionnement de la chaudière.* — Pour faire fonctionner la chaudière à l'air libre, il suffit d'ouvrir la porte F, de relever la cheminée G et de dévisser les deux tampons R ; si on allume alors les brûleurs à pétrole, la chaudière fonctionne comme une chaudière ordinaire, l'air nécessaire à la combus-

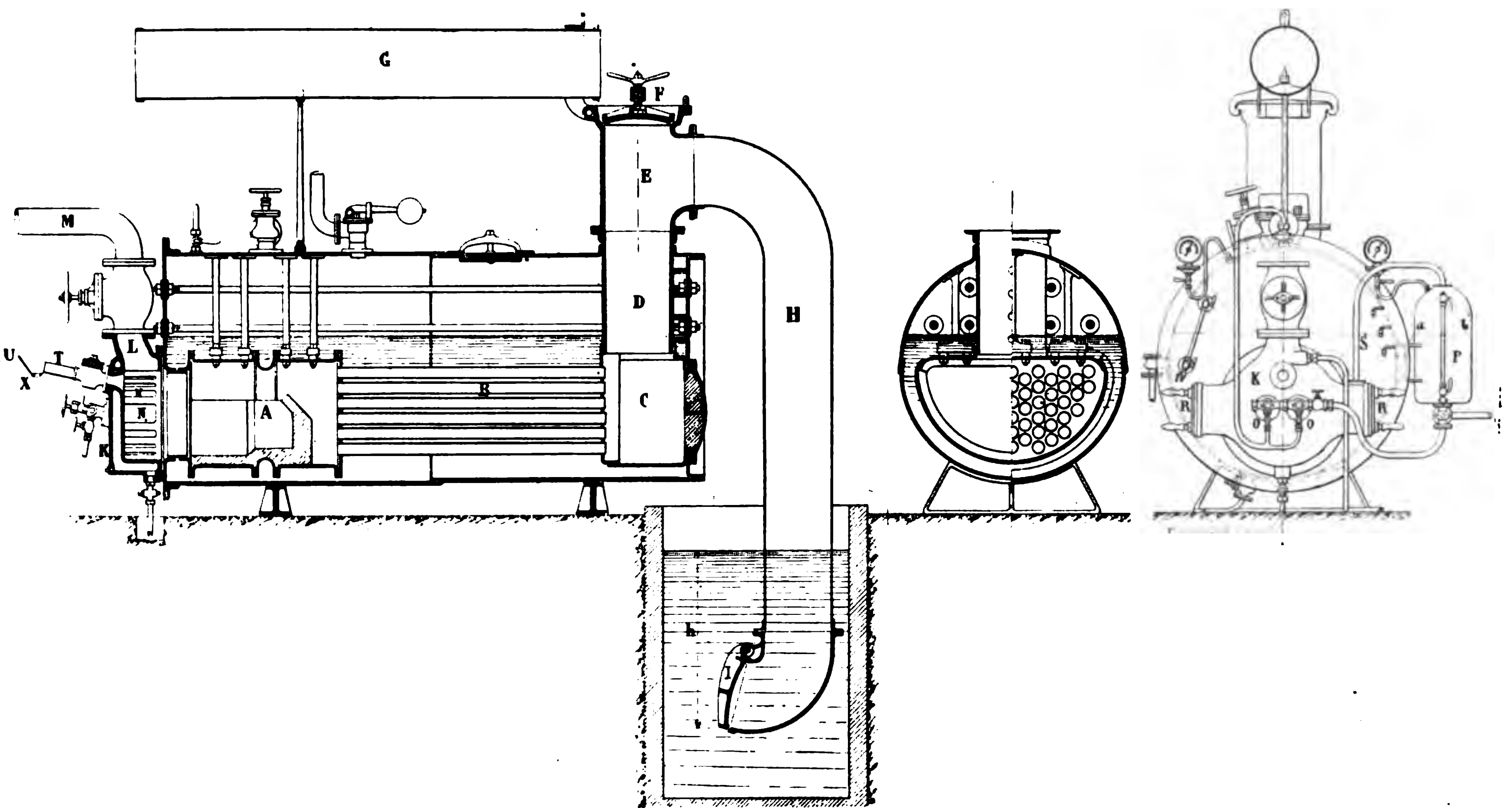


FIG. 136, 137 et 138. — Chaudière, système d'Allest.

tion arrivant par les ouvertures R, et les gaz s'échappant par la cheminée G relevée.

Mais supposons que l'on ferme hermétiquement les portes F et R, et qu'on envoie par le tuyau M, dans le foyer, de l'air comprimé à une pression représentée par une colonne d'eau de hauteur h, h étant la profondeur à laquelle se trouve immergé le clapet I; la combustion continuera à s'effectuer, et les gaz du foyer soulèveront le clapet I, à travers lequel ils se dégageront. Mais il faut, en même temps, que le pétrole continue à s'écouler d'une façon régulière dans le foyer; pour cela, il suffit de mettre le sommet du réservoir P en communication par un tuyau S, avec le foyer; il y a alors, au-dessus du niveau ab, qu'occupe le pétrole dans le réservoir, la même pression h que celle qui existe devant l'orifice d'écoulement des brûleurs; le pétrole continuera donc à s'écouler en vertu de son poids et quelle que soit la pression intérieure du foyer.

Il faut pouvoir juger de l'état du foyer pour augmenter ou diminuer son activité; pour cela un tube T, fermé à son extrémité par une glace épaisse, permet de voir le foyer; mais, au lieu d'observer celui-ci directement, on l'examine par réflexion dans un petit miroir U, mobile autour d'un axe X; de cette façon, si la glace qui ferme le tube T venait à se briser, l'observateur ne serait pas exposé à être brûlé.

Application à la navigation sous-marine. — On comprend immédiatement que cette chaudière, placée dans un bateau sous-marin, continuera à fonctionner lorsque celui-ci sera immergé.

Lorsque le bateau sera à la surface, les gaz s'échapperont par une cheminée telle que G, débouchant dans l'atmosphère; lorsque, au contraire, il sera immergé, il suffira de clore hermétiquement le foyer, et les gaz s'échapperont alors par la cheminée H, qui pourra aboutir sur les flancs ou sous la quille du navire.

L'air nécessaire à la combustion devra toujours être envoyé dans le foyer, à une pression h représentant la profondeur d'immersion augmentée de la petite quantité nécessaire pour

assurer le tirage ; il sera puisé dans des réservoirs où il se trouve emmagasiné à haute pression, et détendu, à la pression *h*, au moyen d'un détendeur placé sur le parcours du tuyau M ; mais, cette pression *h* étant variable, puisqu'elle dépend de la profondeur d'immersion du navire, il faudra, pour que le foyer reçoive toujours de l'air à la pression convenable, que ce détendeur soit commandé par une membrane hydrostatique en communication avec la mer.

Dans ce projet de canot sous-marin, la force motrice qui doit l'actionner pendant la submersion lui est fournie par un grand réservoir, rempli, au moment de l'enfoncement, de 2 mètres cubes d'eau surchauffée à 266°, soit 50 atmosphères nominales.

Dans ce réservoir, ou chaudière tubulaire d'un genre spécial, l'eau logée à l'intérieur des tubes a été amenée à la température convenable, pendant que le bateau marchait à sa surface, avec ses plans directeurs horizontaux ; ou bien au repos avant le départ, à l'aide d'un foyer au pétrole activé par un souffleur agissant dans une cheminée, que l'on baisse au moment de la submersion et dont on ferme alors, de l'intérieur, l'ouverture à l'aide d'un panneau étanche.

Il va sans dire que, si, le canot devant agir comme torpilleur, il y avait lieu d'éviter une partie de la perte de temps, due à la chauffe, le réservoir pourra être rempli, au départ, par de l'eau surchauffée à 20 ou 25 atmosphères prise dans une chaudière extérieure, comme cela se fait pour les locomotives Franck ou les tramways sans foyer.

Quoi qu'il en soit, ce réservoir d'eau surchauffée représente, au moment de la submersion, comme dans les applications citées plus haut, un magasin de travail mécanique d'une puissance énorme.

En effet, 2.000 kilogrammes d'eau pure à la température de 266° représentent une quantité totale de chaleur de 532.000 calories.

Les machines du canot sont disposées pour être alimentées, à la moyenne vitesse de 9 nœuds, par de la vapeur à 10 atmos-

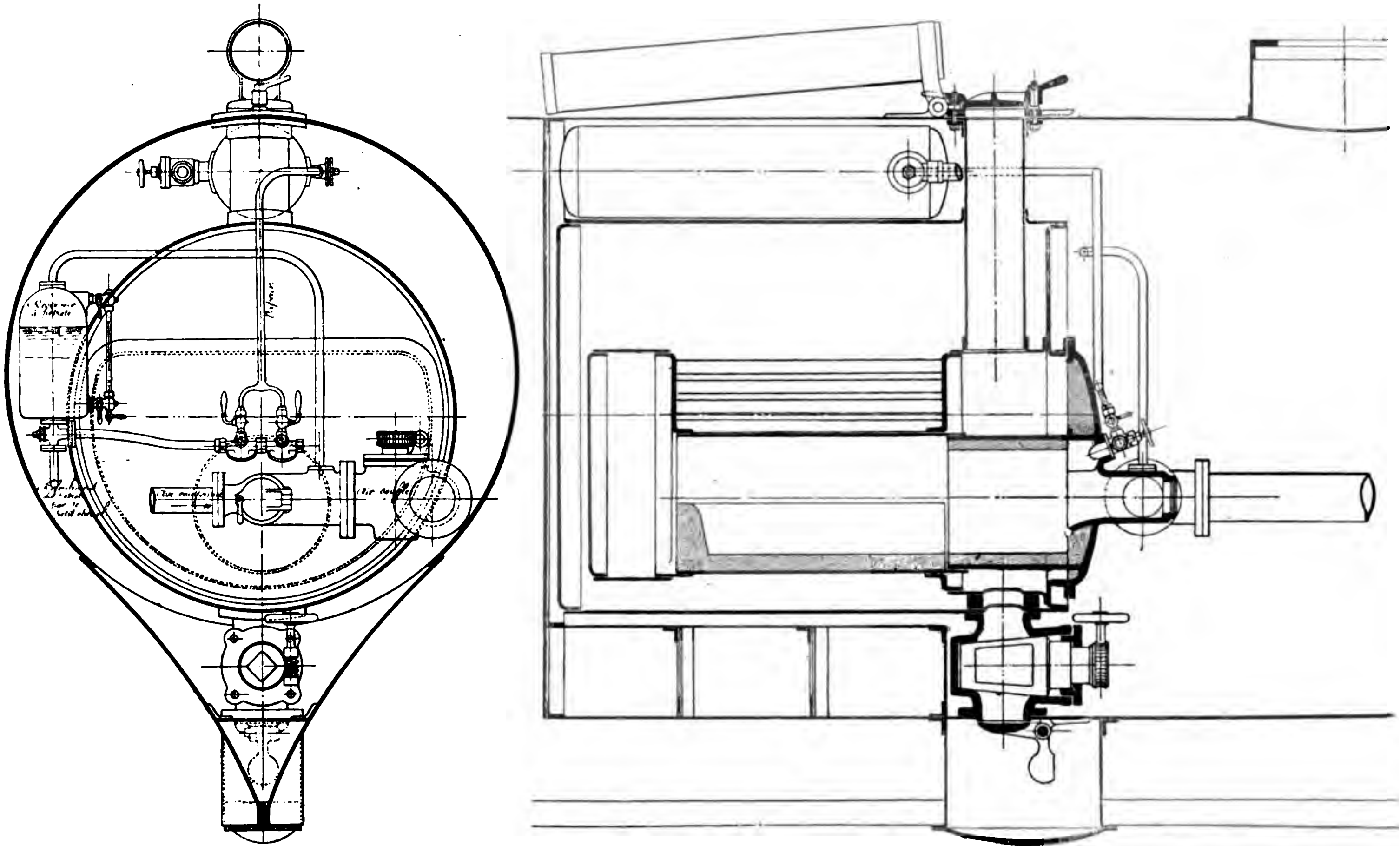


Fig. 139 et 140. — Chaudière d'Allest appliquée à la navigation sous-marine.

phères nominales. Cette vapeur, sortant du réservoir à eau surchauffée, est, pour ainsi dire, laminée à la pression susdite par une soupape de réduction fixée à la tubulure de sortie de vapeur du réservoir.

Nous avons donc, comme minimum de réserve, toute la quantité de chaleur comprise entre 532.000 calories et 364.000 calories, quantité de chaleur contenue dans l'eau du réservoir, quand la pression aura baissé jusqu'à 10 atmosphères.

Cette différence est égale à 188.000 calories représentant $\frac{188.000}{660} = 285$ kilogrammes de vapeurs à 10 atmosphères.

Si l'on utilise la pression des réservoirs jusqu'à ce que l'on tombe à la température de 135°, ou 3 atmosphères effectives, ce qui pourra être nécessaire dans certains cas, on aura comme calorique en réserve :

$$532.000 - 270.000 = 262.000 \text{ calories}$$

ou

$$\frac{262.000}{660} = 396 \text{ kilogrammes de vapeur.}$$

La section maximum immergée du canot, en cas de submersion complète, est égale à $1^{m^2},78$.

Or il est certain qu'en adoptant pour une vitesse de 9 nœuds un travail mécanique nécessaire sur les pistons de 20 chevaux de 75 kilogrammes par mètre carré de section submergé, on va notablement plus loin qu'il est nécessaire, car ce chiffre dépasse la limite extrême de ce qu'on a constaté dans plusieurs expériences d'embarcations à la mer, par tous les temps.

En admettant donc, comme réserve disponible de travail au moment de l'enfoncement, le chiffre de 350 kilogrammes de vapeur; admettant, en outre, qu'avec des machines compound soignées, à condensation et enveloppes permettant un rechauffage entre le grand et le petit cylindre, on puisse compter sur une consommation de vapeur ne dépassant pas 8 kilogrammes à l'heure par cheval compté sur les pistons, nous aurons pour les

$$20 \times 1,78 = 35,6 \text{ chevaux-vapeur,}$$

nécessaires à la marche à 9 nœuds, une durée de travail des machines de :

$$\frac{350}{8 \times 35,6} = 1^h,23 \text{ ou } 74 \text{ minutes.}$$

Si on veut marcher à 18 nœuds, on a naturellement une durée de travail 8 fois plus faible, soit 9 1/4 minutes.

En commençant, on a pu voir que ce que l'on trouverait comme réserve ne serait qu'un minimum extrême.

En voici la preuve :

En effet, les tubes qui composent la chaudière renferment l'eau surchauffée et qui, jusqu'au moment de la submersion, ont été chauffés par la flamme du pétrole, représentent, pour un contenu de 2 mètres cubes, une longueur de 220 mètres pesant 2.060 kilogrammes. Ils auront acquis, au moment où l'on cesse le feu et où l'on bouche toutes les ouvertures du fourneau, une température fort élevée que l'on peut très bien évaluer à 400° en moyenne.

En admettant la capacité calorifique de l'acier à 0,120 et en supposant en outre que l'abaissement total de température se fasse depuis 400° jusqu'à 140°, il y a là encore une source de chaleur fournie à l'eau, qui s'évapore, et la somme de cette chaleur sera égale à :

$$2.068 \times (400 - 140) \times 0,120 = 643.000 \text{ calories}$$

qui viennent s'ajouter aux 262.000 calories que nous admettions avoir seules été utilisées.

Quant aux quantités de chaleur emmagasinées dans les parois extérieures du fourneau et à celle contenue dans les gaz chauds au moment de la fermeture du fourneau, elles sont négligées à dessein, puisqu'elles doivent servir à contre-balancer le refroidissement extérieur qui, du reste, comme il est facile de s'en assurer, ne dépassera pas 700 calories à l'heure pour toute sa surface, à cause de l'épaisse couche d'enduit calorifuge à base d'amiante qui couvrira toutes les parties extérieures du fourneau cylindrique.

On ne s'écarte donc pas de la vérité en estimant la réserve réelle de calorique emmagasiné et utilisable, au moment de la submersion, à 300.000 calories, soit : 455 kilogrammes de vapeur pouvant fournir au bateau une vitesse de 9 nœuds pendant :

$$\frac{455}{8 \times 35{,}6} = 1^{h},60 \text{ ou 96 minutes,}$$

ou bien une vitesse de 18 nœuds pendant douze minutes.

Dans le premier cas, les machines développeront 35^{chev},6, sur les pistons; dans le second cas, elles développeront 285 chevaux.

Il est d'autant plus facile d'atteindre et de dépasser même les vitesses et les temps de marche déterminés plus haut que le chiffre de travail est beaucoup trop élevé pour 1 mètre carré de section immergée et une vitesse de 9 nœuds.

En effet (Voir les expériences du *Yarrow Torpedo Boat : Engineering*, 17 octobre 1879; puis les expériences du steamer *Flinders*, 31 octobre 1879; puis, encore, dans les comptes rendus des expériences de M. Froude, même journal).

Dans toutes ces expériences, le travail absorbé par mètre carré de section immergée du maître-couple oscille entre 8 et 11 chevaux indiqués, tandis que la base de 20 chevaux a été adoptée, c'est-à-dire le double.

Quoi qu'il en soit, il suffit d'avoir assisté à une action, ou même à un simulacre d'action navale, pour se rendre compte que, dans l'état actuel des choses, ces vitesses et ces temps de marche seraient amplement suffisants à un torpilleur sous-marin pour avoir raison du plus puissant cuirassé du monde. C'est là l'opinion d'une foule de marins distingués, auxquels cette question a été soumise.

Avant de terminer cette partie de l'exposé, on doit encore remarquer que, sans modifier aucune partie des appareils, on peut notablement augmenter la capacité calorifique de l'eau en y effectuant la dissolution de certains sels, — opération

analogue à ce qui se fait pour les chaufferettes de chemins de fer à l'aide de l'acétate de soude.

En outre, il n'est tenu aucun compte de l'économie notable de vapeur qu'il y aura, par suite de la surchauffe spontanée se produisant par le laminage de la vapeur dans la soupape de réduction sans production de travail externe.

Si donc, tout en ne conservant que nos premières données, fournissant des résultats au-dessous de la vérité, nous établissons un tableau approximatif des vitesses, durées de marche et d'espèces parcourus dans différentes conditions de fonctionnement de ce bateau, nous voyons :

Vitesse.	Durée de la marche.	Espaces parcourus.
18 nœuds	12,0 minutes	7.400 mètres
15 —	20,8 —	10.789 —
12 —	40,5 —	18.100 —
9 —	96 —	29.800 —
8 —	137,4 —	37.600 —
7 —	204 —	49.000 —
6 —	325 —	67.000 —

Ainsi voilà donc un appareil qui, outre ses qualités précieuses comme torpilleur, peut parcourir, à faible vitesse, près de 70 kilomètres sous l'eau, pour des recherches ou des travaux sous-marins.

Les *bases* sur lesquelles repose le fonctionnement de ce bateau sont maintenant suffisamment posées. Cependant, encore quelques détails :

Il est clair que, pour faire remonter le canot, il n'y a qu'à s'arrêter, même dans le cas où il serait survenu une avarie au système des plans directeurs ou à tout autre partie de l'engin, ce qui présente une garantie de sécurité, d'autant plus que le pouvoir ascensionnel augmente avec la durée de la marche en submersion, par suite de la consommation de vapeur qui sort du condensateur sous forme d'eau tiède.

Une fois à la surface et par un temps maniable, le canot ouvre ses panneaux, relève sa cheminée, remplit sa chaudière avec de l'eau de mer et refait sa pression. Il est alors prêt pour une nouvelle submersion.

Comment vivent, respirent et se trouvent les deux hommes renfermés dans le canot ? — Comme ils ont besoin de toutes leurs facultés, surtout pendant la submersion, il faut :

1° Qu'ils ne soient pas incommodés par la chaleur ;

2° Qu'ils aient suffisamment d'air pur à respirer ;

3° Qu'à n'importe quelle profondeur ils soient soumis à une pression d'air ne variant qu'entre 71 et 81 centimètres de mercure ;

4° Qu'ils soient suffisamment éclairés.

TEMPÉRATURE

Surface du fourneau rayonnant dans l'espace occupé par les hommes	$1^{m3},03$

Nous pouvons négliger le rayonnement de la surface cylindrique du fourneau, puisqu'il se produit contre les parois extérieures du canot en contact avec l'eau en mouvement.

Nous justifierons, du reste, de cette affirmation :

Surface des tubes collecteurs rayonnant du côté des hommes	$0^{m2},70$
Epaisseur de l'enduit calorifuge et feutre	$0^{m},07$

Admettons 400° pour la température moyenne de la face du fourneau et 250° pour la température moyenne des collecteurs.

La formule de Péclet nous donne la quantité M de calories sorties par mètre carré par heure :

$$M = \frac{C(k + k') - (t - T')}{C + (k + k')E}.$$

1° Faisant pour le fourneau :

C, coefficient de conductibilité	=	0,052
k, — de rayonnement	=	0,15
k', — de perte par contact d'air	=	230°
t, température intérieure de l'enveloppe	=	400°
T', température de l'air ambiant	=	25°
E, épaisseur de l'enveloppe	=	0,07

Nous aurons :

$$M = 69 \text{ calories.}$$

2° Pour la chaleur s'échappant des tubes de communication par mètre carré et par heure, nous avons eu avec la même formule et donnant à T′ la valeur de 250° :

$$M' = 41,4 \text{ calories.}$$

Donc la quantité de chaleur sortant de la chaudière et des collecteurs du côté de l'espace occupé par les hommes est égale par heure à :

$$1,03 \times 69 + 0,7 \times 41,5 = 100 \text{ calories.}$$

Nous pouvons, sans nous tromper beaucoup, admettre que la quantité de chaleur émise par heure dans l'intérieur du canot par la machine et la tuyauterie bien enveloppées et bien garanties, sera la moitié de celle émise par le fourneau et les collecteurs, soit 50 calories.

Il est certain que ces 150 calories, se déversant par heure dans l'intérieur du canot, le rendraient pénible à habiter, *s'il n'y avait aucun refroidissement extérieur*. En effet nous verrons plus loin que, par le fait de la ventilation, il passe par heure dans le canot 12.500 mètres cubes d'air, provenant des réservoirs et pesant en moyenne $16^{kg},15$.

La chaleur spécifique de cet air sous pression constante égalant 0,267.

L'accroissement de température de l'air serait donc, s'il n'y avait aucun refroidissement extérieur :

$$x \times 16,15 \times 0,267 = 150$$
$$x = \frac{150}{16,15 \times 0,267} = 35°.$$

Mais cet air contenu dans le canot est de toutes parts en contact direct avec l'enveloppe extérieure en tôle du bateau,

épaisse de 5 à 10 millimètres et incessamment réfrigérée au dehors, grâce à la vitesse propre du canot dans l'eau.

La portion de la surface extérieure du canot qui se trouve en arrière du fourneau est de 22 mètres carrés environ.

Or, pour un seul degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur de la plaque, *un seul* mètre carré de tôle transmettra au dehors 2.900 calories par heure.

La question est donc résolue. Nos hommes auront donc plutôt froid que chaud.

II. — BATEAUX SOUS-MARINS AUTONOMES

Dans le sous-marin, tel que nous l'envisageons, c'est-à-dire destiné aux luttes pacifiques de l'avenir, la condition essentielle est son autonomie. Le sous-marin en question devra être un outil d'exploration pouvant partir à la découverte pendant un laps de temps assez long et emportant avec lui tous ses facteurs d'énergie. Les moteurs seront facilement déterminables, légers, autant que possible de construction simple et d'une mise en marche et d'un arrêt instantanés.

Ils devront se compléter l'un l'autre, non seulement se remplacer, mais encore être absolument indépendants. Ceci est une condition absolue de sécurité. Le moteur à air libre (pendant les périodes de navigation à la surface), qui sera, au choix du constructeur, un moteur à pétrole ou à vapeur, devra remplir le double rôle de propulseur et de récupérateur de force.

Nous allons, séparément, examiner ces diverses conditions :

MOTEUR A VAPEUR

Le moteur à vapeur présente deux grandes qualités : il est le plus simple et aussi le plus robuste dans sa construction.

Malheureusement, si, avec le chauffage au pétrole, on a obtenu l'allumage instantané et l'extinction subite, si l'on a encore un combustible léger et peu encombrant, la mise sous

pression reste encore trop lente et met le bateau immobile à la merci des flots ou de tout autre danger.

Néanmoins une importante Compagnie (*Liquid Fuel engineering and C°*) a fait, au moyen du chauffage liquide, l'une des plus heureuses applications pour la navigation, par une chaudière multibulaire (à tubes d'eau) et qui peut donner en quelques minutes de la vapeur à forte pression.

Ce système permet d'utiliser l'huile de pétrole peu raffinée ;



Fig. 141.

de l'huile lampante, presque brute et, par suite, très peu inflammable.

Cette huile est envoyée sous pression au moyen d'une petite pompe à air, dans un appareil très simple, où elle se convertit en gaz sous l'influence de la chaleur, et d'où elle passe dans un brûleur, qui développe et étend la flamme

avec une intensité extraordinaire, grâce à un courant d'air établi dans le brûleur à la manière d'un giffard.

Le convertisseur est un plateau rond sillonné de tubes creux dans lesquels passe l'huile de pétrole. Quant au brûleur, c'est un cylindre de petit diamètre, muni d'une sorte de soupape qui règle automatiquement l'arrivée du gaz. Il est placé juste au-dessous du centre du convertisseur; car c'est la flamme qui s'en échappe qui vient vaporiser l'huile circulant dans les tubes en alambics du plateau rond.

Toutefois, pour l'allumage, il est nécessaire de *commencer* par échauffer artificiellement ce plateau, afin de pouvoir vaporiser la première huile introduite. A cet effet on soumet le plateau au feu d'un allumeur. qui n'est autre qu'une lampe à alcool garnie d'amiante. Quand la chaleur développée est convenable, on envoie l'huile au plateau où elle se vaporise. Le gaz ainsi obtenu va du plateau au brûleur, où il rencontre la flamme de la lampe à alcool, s'allume à son contact et continue à brûler tant qu'on envoie de l'huile au plateau convertisseur.

Aucune odeur, par conséquent, ne se répand.

La chaudière (*fig.* 141) se compose de deux collecteurs, l'un supérieur, l'autre inférieur, reliés par une double série de tubes en forme d'S. Ces tubes sont en cuivre rouge, sans soudures. Ils sont reliés aux collecteurs par des raccords en métal delta, qui appliquent parfaitement (et sans garniture aucune) sur les sièges coniques le bout des tubes de cuivre légèrement emboutis. Ce mode d'assemblage est extrêmement simple; il permet le changement ou la visite d'un tube en quelques minutes; enfin il est fort solide, car on peut éprouver ces chaudières sans fuites à la presse hydraulique jusqu'à 40 kilogrammes de pression par centimètre carré. Les soupapes de sûreté sont réglées à 250 livres anglaises (= 17^{kg},575) par centimètre carré.

Le vaporisateur et le brûleur sont situés au milieu des tubes, immédiatement au-dessus du collecteur inférieur. La flamme embrasse ainsi tout le centre de la chaudière et permet d'obtenir la pression en dix à onze minutes.

Grâce à cette chaudière très légère et très puissante, combinée avec des machines compound d'un poids également très réduit, moitié moindre que pour des appareils ordinaires donnant la même force de chevaux, la Compagnie du Liquid Fuel a réussi à construire, dans ses ateliers de Cowes, dans l'île de Wight, des canots à hélice à grande vitesse et de faible tirant d'eau, qui n'exigent qu'un seul homme pour la manœuvre des machines, des chaudières et même du gouvernail, grâce à la disposition spéciale d'un levier qui se trouve au centre du canot et qui commande la barre.

CHAUFFAGE DES CHAUDIÈRES AU PÉTROLE PAR LES PROCÉDÉS A. SEIGLE

Nous avons vu, en décrivant la chaudière de M. d'Allest, tout l'intérêt que comporte ce mode de chauffage et que l'idée de son application à la navigation sous-marine remonte déjà à un certain nombre d'années, M. Adolphe Seigle a réalisé d'une manière pratique et économique le chauffage des chaudières à vapeur au moyen des hydrocarbures lourds.

C'est une chaudière construite par la Société Seigle, qui est installée à bord du *Narval*. Elle alimente de vapeur la machine qui actionne l'hélice pendant la navigation à la surface. Il faut donc que, pendant l'immersion, les feux puissent s'éteindre facilement et rapidement, et se rallumer de même au moment de l'émersion. Nous allons décrire les différents procédés employés.

Nous dirons tout d'abord que M. Seigle s'est posé le problème suivant :

Diviser les foyers, pour chauffer au moyen de plusieurs jets enflammés, entre lesquels l'air peut circuler en assez grande quantité pour assurer la combustion complète, intégrale du carbone et de l'hydrogène contenus dans le combustible ;

Envoyer ensuite la chaleur ainsi produite sur une grande surface métallique recouverte d'eau et léchée d'une façon permanente par les flammes, afin d'éviter qu'elles n'atteignent

une trop haute température intérieure, et que la dissociation se produise prématurément. M. Seigle a constitué son foyer par une série de tubes de diamètres différents, formant une gaine télescopique entourée du liquide à chauffer. Cette gaine va en s'agrandissant. Sa longueur est à peu près égale à la longueur de la flamme, et les gaz chauds provenant de la combustion sont utilisés dans les chaudières à grande réserve d'eau en passant par un faisceau tubulaire de retour de flammes (*fig.* 142) ; dans les chaudières tubuleuses, les gaz chauds sont utilisés en léchant extérieurement les tubes d'eau, on conduit ces gaz au moyen de chicanes (*fig.* 244).

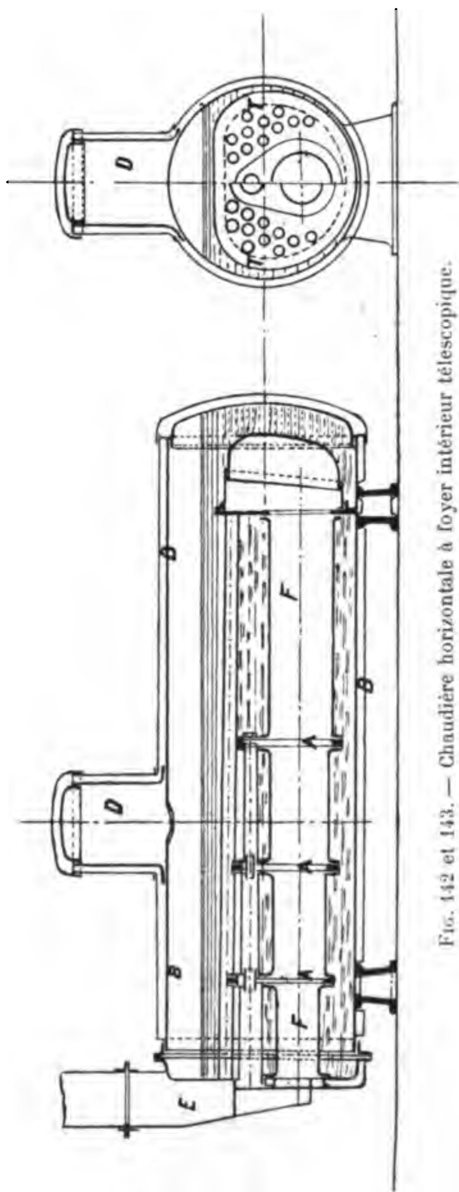


Fig. 142 et 143. — Chaudière horizontale à foyer intérieur télescopique.

La figure 142 est une chaudière horizontale à retour de flammes de la Société de construction de Pantin, dans laquelle on a retiré le foyer, qui a été remplacé par une gaine télescopique, F, formant le nouveau

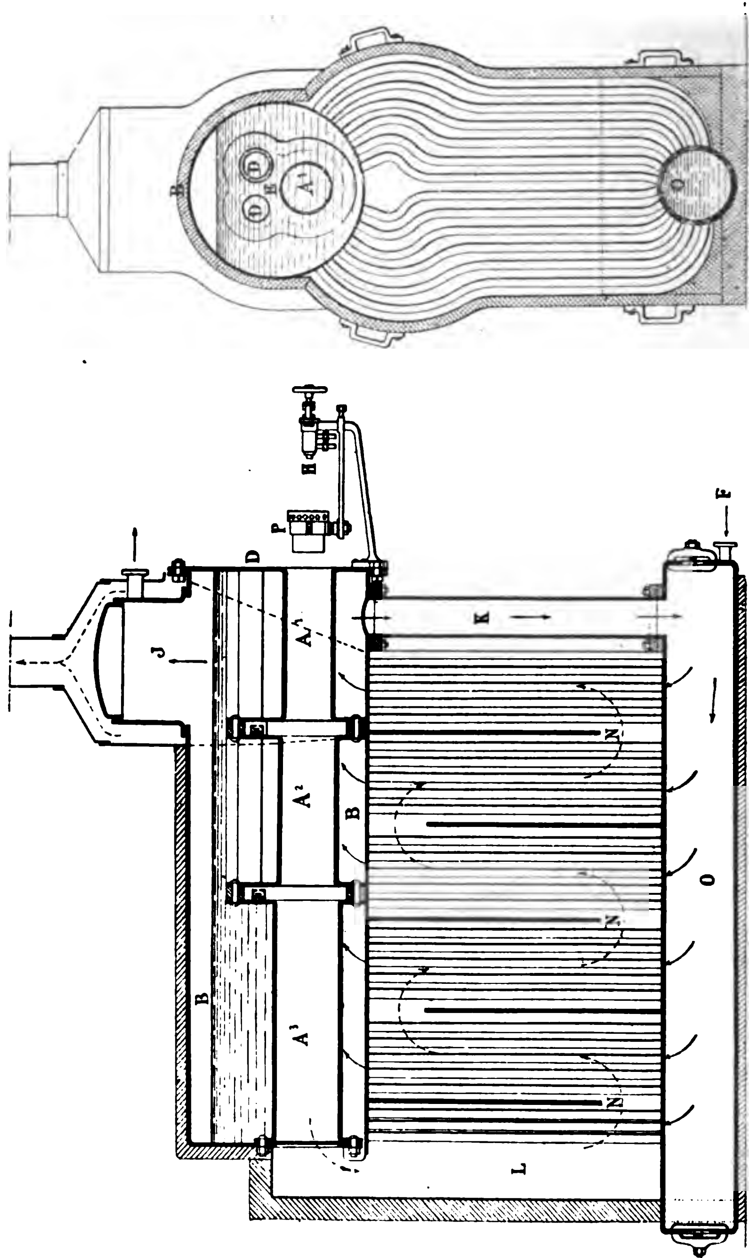


FIG. 144 et 145. — Chaudière de torpilleur.

foyer ; dans cette gaine légèrement conique, dont le petit diamètre est placé du côté des brûleurs, l'inventeur a disposé, à des intervalles réguliers, trois chambres circulaires, A, A′, A″, alimentées d'air, par des orifices placés sur l'AV du foyer.

Le jet de flamme est lancé dans la gaine F ; il appelle ainsi automatiquement, par les trois chambres circulaires, l'air nécessaire à la combustion ; la longueur de la flamme est à peu près égale à la longueur de la gaine F ; le retour des gaz chauds se fait à travers un faisceau tubulaire TT ; D est le

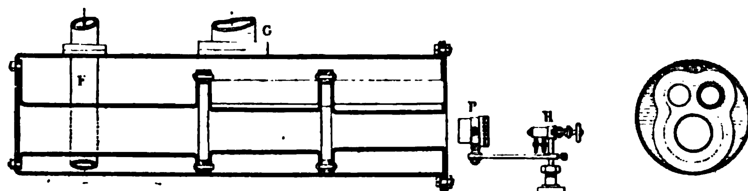


Fig. 146 et 147.

dôme de vapeur ; E est la boîte à fumée et la cheminée. Cette figure indique le principe de la chaudière Seigle ; mais la disposition de cet appareil évaporatoire ne pouvait convenir à la navigation sous-marine en raison de son poids et de ses dimensions ; aussi est-ce une chaudière toute différente, qui a été étudiée en vue de cette application toute particulière. La figure 144 montre l'adaptation d'un bouilleur télescopique à une chaudière de torpilleur.

Ce bouilleur intensif, dit « à foyer intérieur télescopique et amovible », est logé dans le corps cylindrique B, qui constitue le réservoir d'eau et qui porte le dôme de vapeur I. Comme dans la chaudière décrite ci-dessus, la gaine est formée de trois cylindres A^1, A^2, A^3, de diamètres croissants. Le jet de gaz enflammé, projeté par le pulvérisateur H, produit un appel naturel d'air, par les boîtes F et les tuyaux D, amenant l'air de l'extérieur ; on règle les ouvertures D, ainsi que le pulvérisateur H, de façon que la combustion soit achevée à la sortie de la gaine ; les chicanes N, conduisent les gaz chauds qui traversent, en zigzag, le faisceau tubulaire.

L'alimentation de la chaudière se fait par F dans le collec-

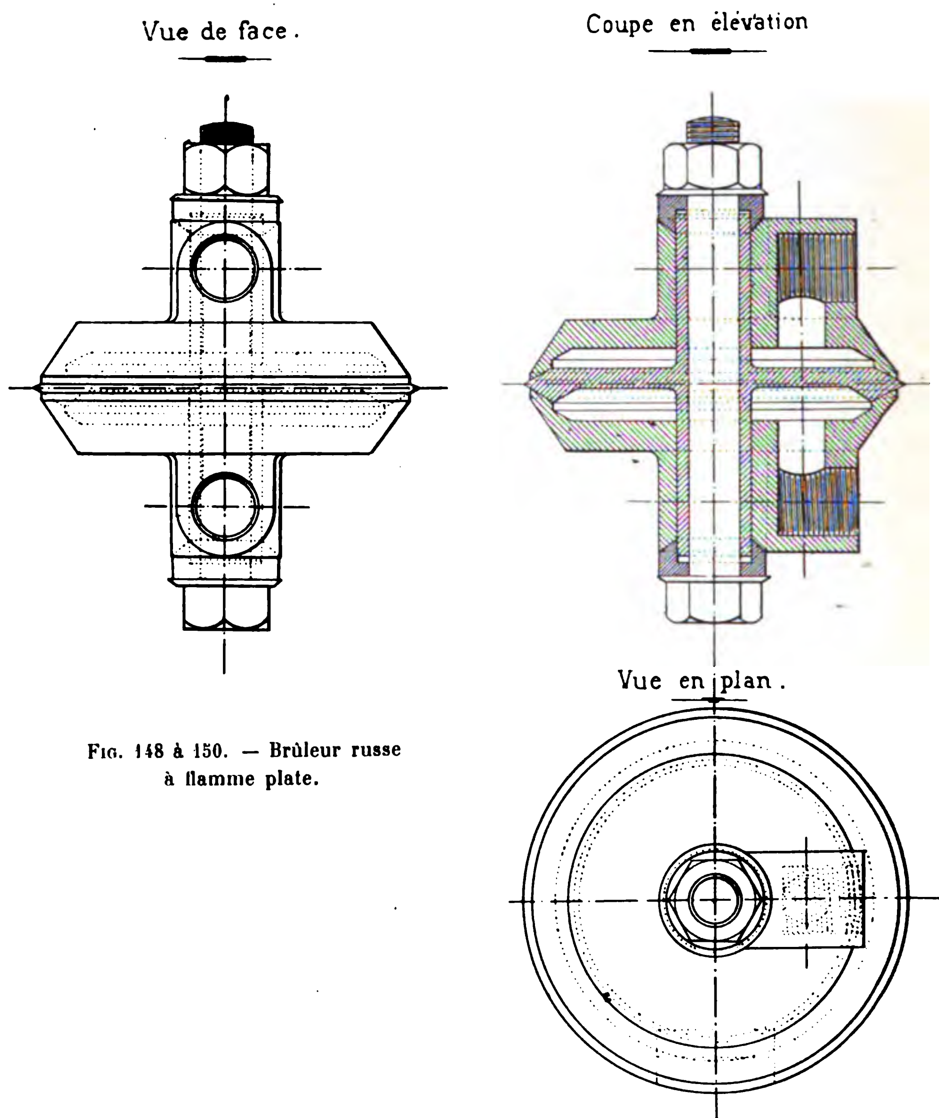


Fig. 148 à 150. — Brûleur russe à flamme plate.

teur O, qui est relié au corps principal B, par la conduite K. Ce bouilleur, muni de son foyer intérieur, peut constituer un géné-

rateur complet (*fig.* 146); dans ce cas, il suffit de lui adapter un tuyau d'alimentation et une prise de vapeur.

Divers brûleurs ont été essayés à ce mode de chauffage, les brûleurs russes à flamme plate (*fig.* 148). La Société Seigle emploie de préférence le brûleur (*fig.* 151), qui produit une flamme tournante de section circulaire. La vapeur arrive par la tubulure de gauche; elle est distribuée au bout du brûleur par un orifice annulaire; l'huile est conduite au centre du brûleur; son débit est réglé par un cône qui ouvre plus ou moins l'orifice central; l'huile passe à travers deux ailes d'hélice avant d'arriver à l'orifice; elle se trouve ainsi projetée à l'extérieur par un mouvement tournant autour de l'axe du brûleur.

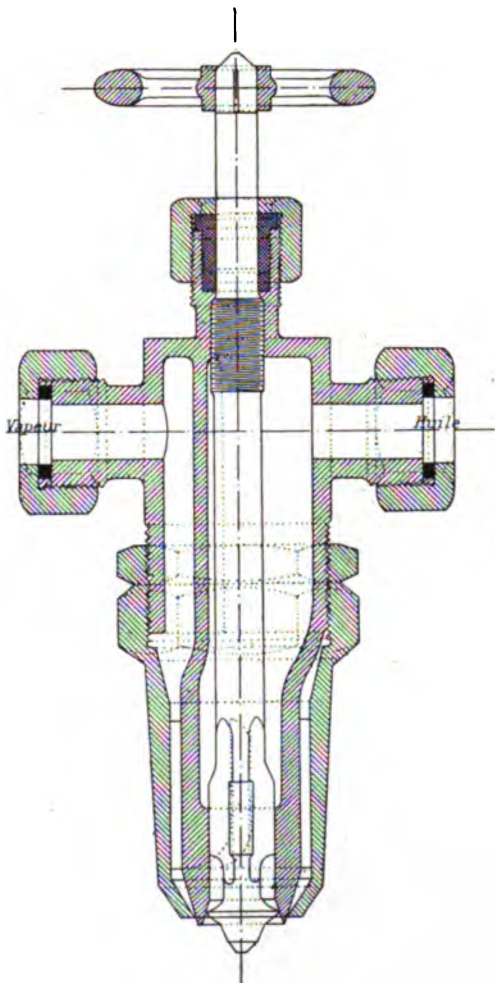


Fig. 151. — Brûleur Seigle.

Afin d'éviter des projections d'huile dans le foyer, au cas où le brûleur viendrait fortuitement à s'éteindre, l'on a prévu un appareil pour le rallumage automatique. Cet appareil est placé entre le foyer et le pulvérisateur; il est formé (*fig.* 152)

d'une sorte de tuyère qui est chauffée par le passage du jet d'huile enflammée, et qui entretient la partie intérieure de cette pièce à une température supérieure à celle qui correspond au point d'inflammation de cette huile. En cas d'extinction,

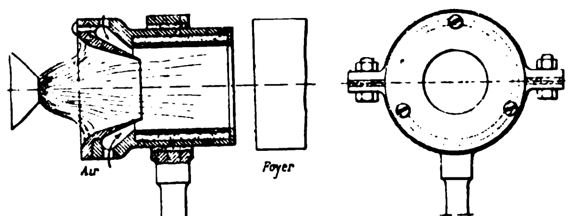


Fig. 152 et 153.

cette partie de la tuyère conserve et maintient pendant quelques instants une température suffisante au rallumage du combustible.

La Société des procédés Seigle a complété ses appareils de chauffage des chaudières au pétrole, en établissant des appareils

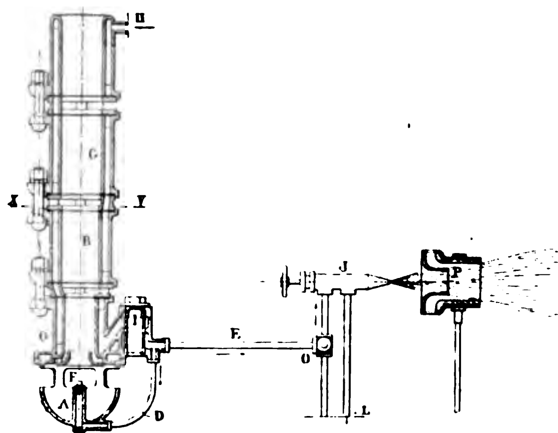


Fig. 154.

de mise en train ; elle emploie, pour l'allumage des foyers, de dispositifs ingénieux que nous décrirons sommairement.

Pour pulvériser le liquide combustible, pétrole ou huile

lourde, on emploie l'air comprimé ou la vapeur. Les appareils diffèrent selon que l'on emploie des hydrocarbures lourds ou légers.

La figure 154 donne la disposition employée avec les produits lourds pour l'allumage et pour le chauffage. Cette cornue verticale est formée de quatre tronçons cylindriques à double enveloppe, boulonnés bout à bout, dont les diamètres vont en croissant. Le cylindre intérieur C constitue le foyer, et l'espace annulaire G, la cornue qui reçoit sous pression, par l'orifice H, l'hydrocarbure lourd dont la gazéification sert à la fois à l'allumage et au chauffage.

Le tronçon inférieur porte une boîte I contenant une matière tamisante qui arrête les impuretés des vapeurs d'hydrocarbures. A la partie inférieure et à la sortie se trouvent deux branchements D et E; le premier aboutit à un brûleur F, émergeant d'une coupe A placée à la partie inférieure de la cornue et formant lanternes pourvues d'orifices et d'un ajutage pour l'admission et la distribution de l'air.

Le branchement E conduit, par le robinet O, les vapeurs de pétrole au pulvérisateur I, qui reçoit en même temps, par le conduit L, de la vapeur d'eau ou de l'air sous pression; la flamme du jet passe à travers de l'allumeur permanent, P.

Pour la mise en train, on verse un hydrocarbure léger en quantité suffisante dans la coupe A; en brûlant, il porte le foyer B et l'hydrocarbure que contient la cornue à la température de vaporisation. Les vapeurs ainsi produites se partagent entre le brûleur F et le pulvérisateur I, de façon à servir à la fois au chauffage du foyer B et au chauffage de la chaudière.

Pour l'emploi d'hydrocarbures légers, les dispositions sont simplifiées; on substitue un simple ajutage J au pulvérisateur; la boîte filtrante est supprimée, et la cornue est remplacée par un serpentin métallique formant le foyer. La mise en train s'effectue comme avec l'appareil précédent.

Pour les cas où on ne dispose ni d'air comprimé ni de vapeur sous pression, la Société Seigle a construit un appareil de chauf-

fage représenté figure 156; il consiste en un réservoir A, portant à la partie supérieure un bouchon de remplissage, un manomètre et une pompe B, qui sert à comprimer l'air dans le réservoir A, qui contient de l'eau jusqu'à une certaine hauteur; deux conduits F et O, amènent respectivement au serpentin E de l'eau ou de l'air; l'appareil se complète par un pulvérisateur L et un réservoir d'hydrocarbures I.

Lorsque la vapeur fait défaut, on ouvre les robinets des conduits N et O; le mélange d'hydrocarbure et d'air sort, en

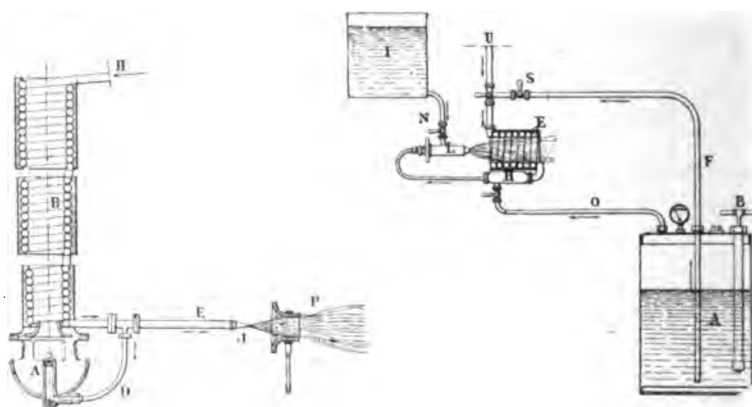


Fig. 155 et 156.

poussière fine, de l'ajutage du pulvérisateur. Ce jet enflammé chauffe le serpentin E; et lorsque celui-ci est porté à la température voulue, on ouvre le robinet S; l'eau arrive au serpentin, dans lequel elle se vaporise.

La vapeur ainsi produite se rend au réservoir H et de là au pulvérisateur, où elle remplace l'air de la conduite O, dont on a fermé le robinet.

Le jet enflammé qui passe à l'intérieur du serpentin maintient une température constante et suffisante pour vaporiser la quantité d'eau nécessaire à la pulvérisation.

La figure 145 représente une chaudière de torpilleur avec un seul collecteur O à la partie inférieure. Pour *le Narval*, la Société Seigle a adopté une disposition différente (*fig.* 157); le faisceau

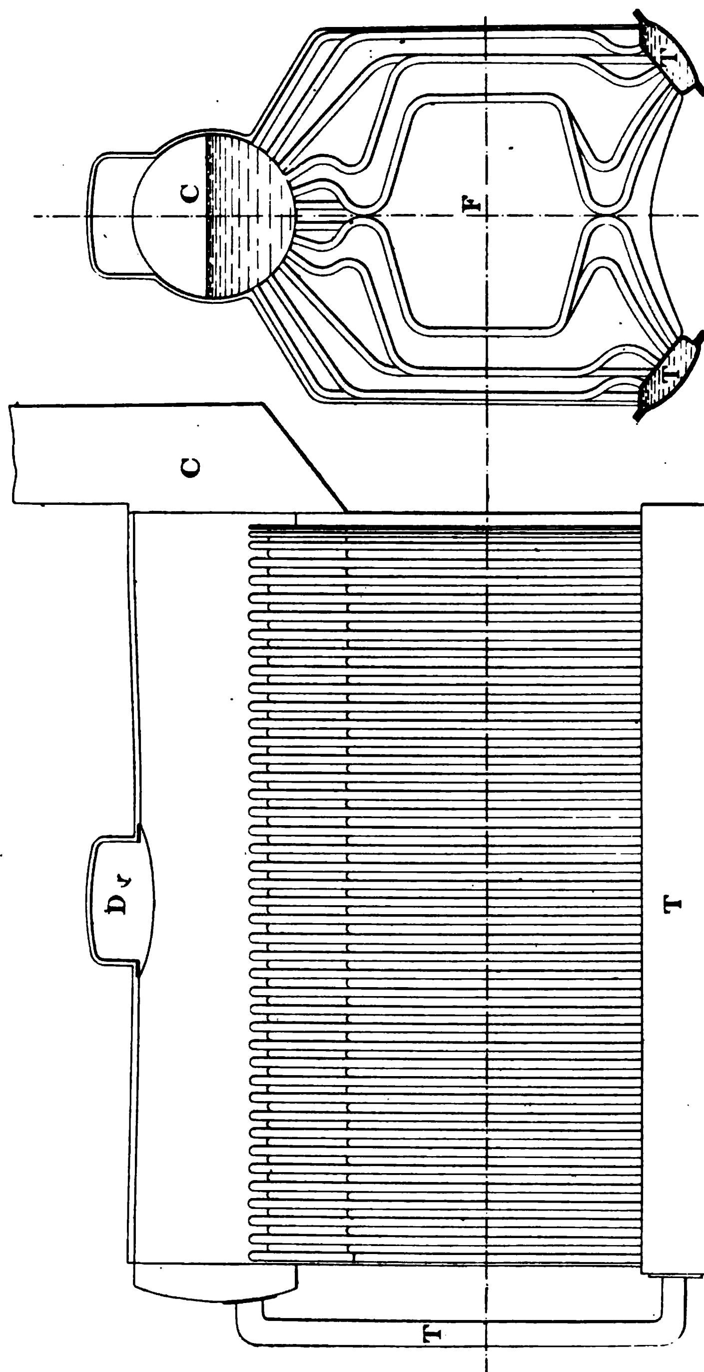


Fig. 157 et 158. — Chaudière aquatubulaire système A. Seigle.

tubulaire est ouvert et forme lui-même le foyer dans lequel sont projetées les flammes de cinq brûleurs.

On éprouve, paraît-il, une grande difficulté à obtenir un bon réglage de la pulvérisation et à éviter le dégagement de fumée très noire qui décèle la présence du torpilleur.

MOTEURS A PÉTROLE

Le cadre de notre ouvrage ne nous permet pas de donner une théorie complète de ces moteurs; nous renvoyons ceux de nos lecteurs que cette théorie intéresse aux excellents ouvrages de M. Gustave Richard (*Moteurs à pétrole*[1]) et de M. Aimé Witz (*Moteurs à gaz*).

Les moteurs à pétrole se divisent en deux grandes catégories :

Les moteurs à explosion;

Les moteurs à combustion.

Dans les premiers on introduit, dans le cylindre, un mélange gazeux que l'on fait détoner, tandis que, dans les seconds, on fait brûler ce mélange graduellement, à pression constante.

Ces deux catégories se subdivisent de la façon suivante :

Premier type. — Moteurs sans compression et à explosion;

Deuxième type. — Moteurs avec compression et à explosion :

Moteurs à deux temps;

Moteurs à quatre temps;

Moteurs à six temps;

Troisième type. — Moteurs avec compression et à combustion;

Quatrième type. — Moteurs atmosphériques;

Cinquième type. — Moteurs rotatifs.

La construction des premier, quatrième et cinquième types a été abandonnée pour diverses raisons, faiblesse du rendement, dimensions encombrantes, poids exagérés; pour le cinquième type, nous devons ajouter aux raisons précédentes la diffi-

[1] Mme Vve Ch. Dunod, éditeur.

culté d'obtenir l'étanchéité et le refroidissement du piston. Le moteur à six temps a été construit en Angleterre en très petit nombre ; il est complètement abandonné aujourd'hui. Il reste donc le deuxième et le troisième type, qui se partagent la faveur des constructeur ; mais c'est le moteur à quatre temps à compression et explosion qui est de beaucoup le plus répandu.

Sur le cycle à quatre temps de Beau de Rochas, on prend actuellement cinquante brevets par mois, ce n'est pas sur le principe même ni sur son application que portent les revendications, mais bien plutôt sur des détails insignifiants, tels que la forme d'un segment, le mode d'attache d'un cylindre, d'un ressort, la position d'une soupape ; la plupart de ces moyens sont quelquefois surannés, vieillots ; mais celui qui les réinvente est satisfait tout de même.

Les moteurs à pétrole, comme toutes les machines thermiques, tirent leur force, leur puissance de la chaleur, l'avantage incontestable qu'ils ont sur tous les autres est de porter avec eux, sous la forme très maniable d'une provision d'essence minérale, ou de pétrole lampant de peu de volume, *la réserve d'énergie qui leur est nécessaire*. Ils n'exigent pas, comme les moteurs à feu, la surveillance constante de la pression, le soin du feu et de l'alimentation.

Le moteur à pétrole mono-cylindrique, quoique réalisant à peu près les conditions de bonne marche, présente certaines imperfections. Le travail qu'il développe est irrégulier, étant produit par une course motrice seulement sur quatre, ce qui nécessite, dans la construction de ces moteurs, l'emploi d'arbres très forts et de volants énormes, très lourds, ou l'obligation d'une vitesse exagérée. A notre avis, le moteur rationnel doit être à deux cylindres pour les moteurs à deux temps et à quatre pour les moteurs à quatre temps, afin de transmettre le travail à l'arbre moteur d'une façon normale par un cycle régulier, et pour maintenir la constance de ce cycle pendant la marche à vide, la marche en pleine charge et à toutes les puissances intermédiaires, le régulateur doit laisser travailler tous les cylindres et modifier seulement le travail de chacun,

de telle sorte que, selon le moteur, la somme de travail des deux ou des quatre cylindres corresponde toujours à la puissance exigée.

En vue de leur application à la navigation sous-marine, les moteurs à pétrole doivent être étudiés et construits d'une façon toute spéciale, toute particulière, afin d'éviter les dégagements de chaleur et d'odeur.

Par une circulation d'eau rationnelle autour de toutes les parties du moteur qui sont en contact avec les gaz chauds, on obtient un refroidissement très suffisant. Par une construction soignée, par des clapets placés sur les conduites, on évite les retours ou refoulements des gaz à l'intérieur de la coque. L'odeur désagréable dégagée par les moteurs à pétrole provient des gaz d'échappement que l'on conduit, du reste, à l'extérieur de la coque. Mais un moteur bien établi et bien conduit, doit échapper des gaz incolores et inodores. L'odeur provient de trois causes : abondance de graissage, combustion incomplète, et ratés d'allumage. Les deux premiers cas se reconnaissent à la sortie de l'échappement, les gaz teintés en bleu violacé proviennent de la combustion des huiles de graissage, lorsque celui-ci est trop abondant ; les gaz teintés en noir de fumée accusent une combustion incomplète résultant de l'admission d'un mélange trop riche en carbures ; les ratés se constatent aussi à l'échappement quand le bruit de celui-ci est irrégulier.

C'est donc d'un mauvais réglage, du graissage et du mélange, que provient l'odeur désagréable répandue sur les routes par les automobiles.

L'application des moteurs à pétrole à la locomotion automobile a eu pour conséquence immédiate d'initier un grand nombre de personnes à la conduite de ces moteurs, et, chose tout au moins bizarre, c'est au moment où l'emploi du moteur à pétrole a supprimé le chauffage que les conducteurs d'automobiles ont choisi le nom de *chauffeurs*, alors qu'ils n'ont plus à chauffer. Ce n'est pas la seule anomalie que nous ayons constatée dans les termes employés par les *chauffeurs*.

Nous entendons constamment parler d'avance à l'allumage; or on n'avance pas l'allumage, *on rétablit le moment d'allumage*, mais on ne peut ni ne doit l'avancer.

On établit un moteur à pétrole en arrêtant ses dispositions géométriques, en choisissant le rapport du diamètre du piston à sa course, et en déterminant ses dimensions pour une force donnée à une vitesse prévue. Cette vitesse varie aujourd'hui dans des proportions très grandes, de 150 à 2.000 tours à la minute; mais, quelle que soit la vitesse choisie, l'allumage devra toujours se produire au même point, c'est-à-dire à la fin de la période de compression, moment qui correspond exactement au maximum de compression et au passage du *point mort* par la manivelle de l'arbre moteur.

Plus la vitesse du moteur est grande, plus il franchit vite le point mort et, par suite, plus il s'éloigne rapidement du point d'allumage; or, pour une compression donnée, l'inflammation se propage à la masse gazeuse dans le même temps, pendant lequel, selon la vitesse, la manivelle parcourt un chemin plus ou moins grand, formant un angle qui atteint 35 à 40° dans les moteurs à 1.500 tours.

Cet angle, formé par le moment initial d'allumage et le moment de l'inflammation de la masse gazeuse, doit être reporté en avance, c'est-à-dire que, dans les moteurs à 1.500 tours, à inflammation électrique, le contact d'allumage se fait à 35° avant le point mort, qui est réellement le point d'inflammation. A la mise en marche, ce point est retardé de 35°, et il est *rétabli ensuite progressivement*, *mais non avancé*.

Il faut donc, pour obtenir le meilleur rendement, quelle que soit la vitesse de régime choisie, que les organes qui concourent à produire l'allumage soient réglables pour que l'inflammation ait lieu dans tous les moteurs au moment où le mélange gazeux est à son maximum de compression, ni avant, ni après; car, si l'allumage a lieu avant, l'inflammation donne naissance à un travail qui tend à faire tourner le moteur à l'envers; si, au contraire, l'allumage a lieu après, les

gaz se sont partiellement décompressés, et le moteur ne produit plus qu'une partie de sa puissance.

On arrive à déterminer le point d'allumage d'une façon précise en relevant des courbes au moyen de l'indicateur de Watt, mais pour des vitesses inférieures à 600 tours à la minute seulement. Pour les vitesses supérieures, il est impossible de se servir de cet appareil; le moment d'allumage, dans ce cas, est déterminé par tâtonnements.

A la mise en marche, comme il est impossible de lancer le moteur à sa vitesse de régime, il est indispensable de retarder momentanément l'allumage pour faciliter la mise en marche, sans cela le moteur aurait, comme nous l'avons déjà dit, une tendance à se mettre en marche dans le sens opposé, à faire marche arrière. Dès que le moteur est en marche, on rétablit progressivement le point d'allumage.

Cela n'est pas une nouveauté comme on semblerait le croire, car les moteurs à pétrole datant de 20 années étaient pourvus de ce dispositif.

Par les considérations que nous venons d'exposer, on voit que l'on retarde l'allumage pour faciliter la mise en marche; mais une fois le moment normal rétabli, on ne peut l'avancer sans troubler le rendement du moteur.

La caractéristique essentielle des moteurs à pétrole est la carburation de l'air qui sert à composer le mélange détonant.

Cette carburation de l'air est obtenue au moyen de deux catégories d'appareils bien distincts : les carburateurs et les vaporisateurs.

1° On opère à la température ambiante de 20° en employant des carburateurs qui transforment les essences de pétrole (densité 650 à 720) de l'état liquide à l'état gazeux.

2° Les vaporisateurs qui nécessitent le chauffage préalable d'un vase clos qui sert de vaporisateur et dont les parois sont portées et maintenues à une température de 250° à 400°, variable suivant les appareils et la densité du pétrole employés ; on peut les classer en trois types principaux A, B, C, tous pourvus de vaporisateurs opérant la carburation de l'air du mélange

détonant par volatilisation du pétrole, goutte à goutte, à mesure des besoins du moteur.

Dans le type A, la volatilisation s'opère après la pulvérisation du pétrole et en présence du complément d'air nécessaire à sa combustion, dans un vaporisateur séparé, chauffé par les gaz de l'échappement à une température de 150° à 300°.

Dans le type B, la volatilisation se fait dans un vaporisateur distinct de la chambre de compression du moteur. Ce vaporisateur est porté par une lampe à une température très élevée qui gazéifie en partie le pétrole; l'addition de l'air complémentaire se fait au cylindre moteur.

Les machines du type C, la volatilisation s'opère dans le prolongement de la chambre et chauffée par les explosions du moteur, avec ou sans pulvérisation.

On facilite la marche en allumage spontané en garnissant l'intérieur de matières réfractaires, ou en faisant venir de fonte des nervures minces que les explosions maintiennent à la température d'allumage.

Nous donnerons quelques-uns de ces appareils, les détails de leur construction et leur fonctionnement.

CARBURATEUR FOREST

Le principe de cet appareil, qui date de 1888, repose sur trois points caractéristiques :

1° Echauffement de l'air ambiant avant son entrée au carburateur;

2° Maintien dans le carburateur d'une température absolument constante par une circulation méthodique d'eau chaude;

3° Régulation rigoureuse de l'introduction du pétrole dans le carburateur, maintenant le niveau constant.

Ces trois conditions sont indispensables à la carburation continue, régulière, d'un grand volume d'air devant alimenter un moteur d'une grande puissance.

On sait que l'évaporation produit du froid qu'il faut com-

battre en envoyant au carburateur un nombre de calories égal aux frigories produites par l'évaporation ; sans cela il se forme sur le carburateur une couche de glace qui ne tarde pas à arrêter le fonctionnement de l'appareil. Il faut donc, pour obtenir une carburation régulière, maintenir la constance de la température et de l'alimentation.

La figure 159 représente l'ensemble de l'appareil, qui est constitué de deux cylindres concentriques fermés par deux

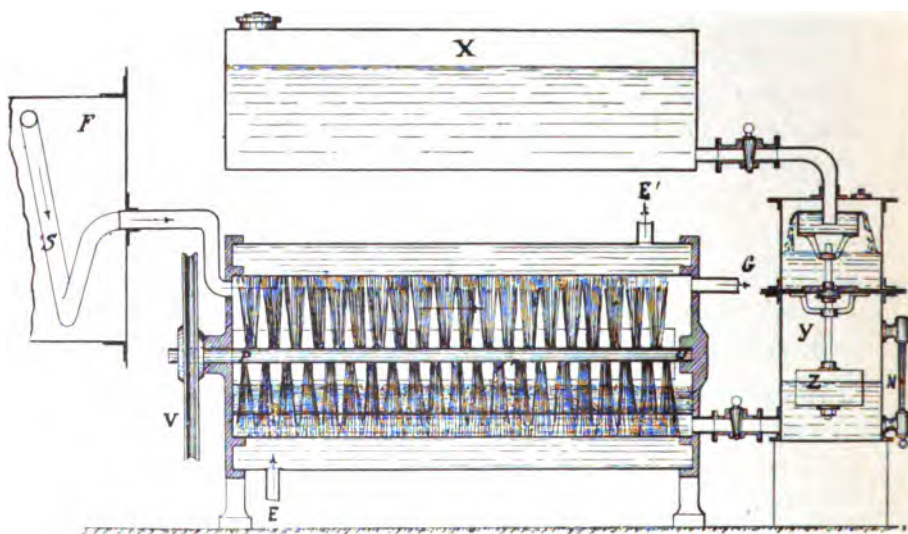


Fig. 159. — Carburateur Forest.

flasques au centre desquelles passe un arbre O portant une série de brosses circulaires, mises en mouvement au moyen de la poulie V ; ces brosses, en tournant, s'imprègnent de pétrole, et elles offrent ainsi une grande surface d'évaporation. Le cylindre extérieur forme une enveloppe de circulation d'eau chaude, laquelle entre dans la tubulure E pour sortir par la tubulure opposée E'.

Le réservoir X, par l'intermédiaire du flotteur Y, maintient constant le niveau du liquide dans le carburateur. F est la boîte d'échappement des gaz du moteur ; elle est traversée par

le serpentin S, qui échauffe l'air avant son arrivée au carburateur.

L'eau qui circule autour du carburateur a d'abord passé autour des cylindres moteurs auxquels elle a pris une somme de calories qu'elle transmet au carburateur. A la mise en

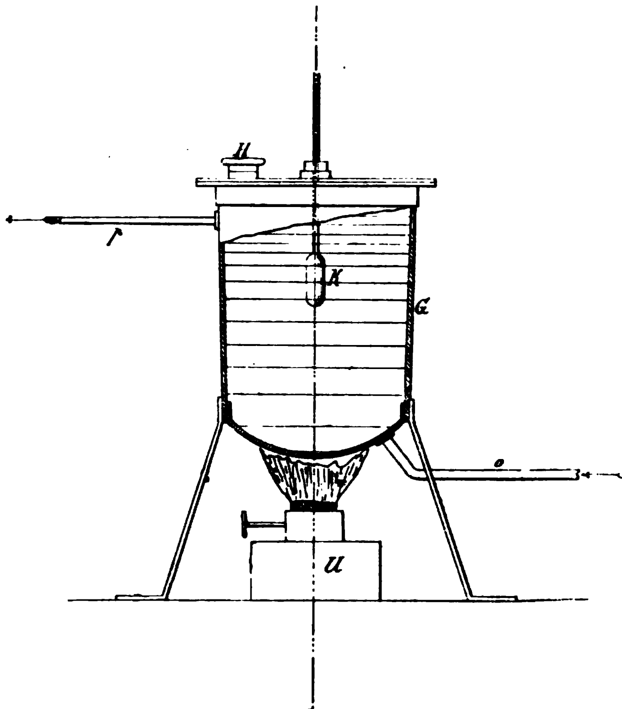


Fig. 160.

marche, si cela est nécessaire, on peut chauffer au moyen de l'appareil figuré par la lampe U. L'air ambiant traverse d'abord le serpentin S, entre dans le carburateur par un des fonds ; il circule autour des brosses circulaires et sort saturé de carbures par la conduite G.

CARBURATEUR LONGUEMARE

Le pétrole arrive par DG (*fig.* 161) et la valve H, manœu-

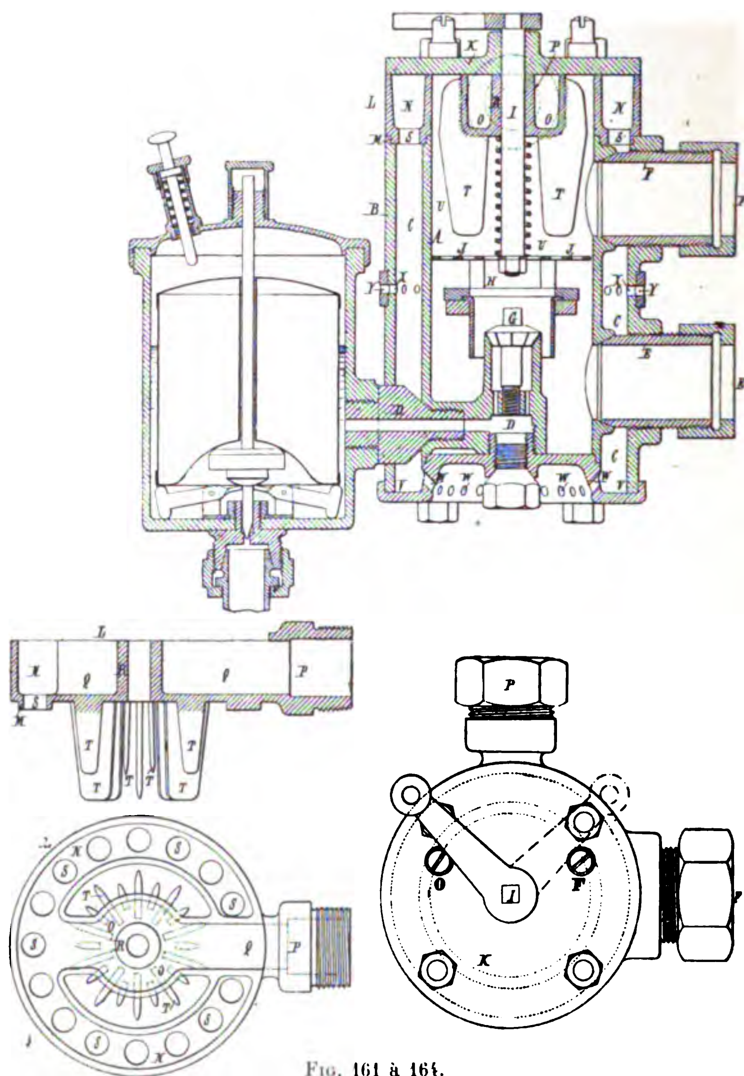


Fig. 161 à 164.

vrée par I, se mélange au travers de la toile perforée J à l'air

aspiré par E, et ce mélange est aspiré par F au moteur, après s'être vaporisé sur les ailettes T du couvercle L, chauffées par une dérivation de l'échappement suivant PQSGVW. Pour la mise en train, on chauffe l'appareil avec une lampe en W dont les produits de la combustion s'échappent par G et les orifices X, alors découverts par l'anneau Y.

CARBURATEUR PHILIPS

Pour gazolines. Le réservoir X (*fig.* 165) renferme un agitateur A, rainuré sur l'arbre B, avec frotteur *a*, et l'arbre B est

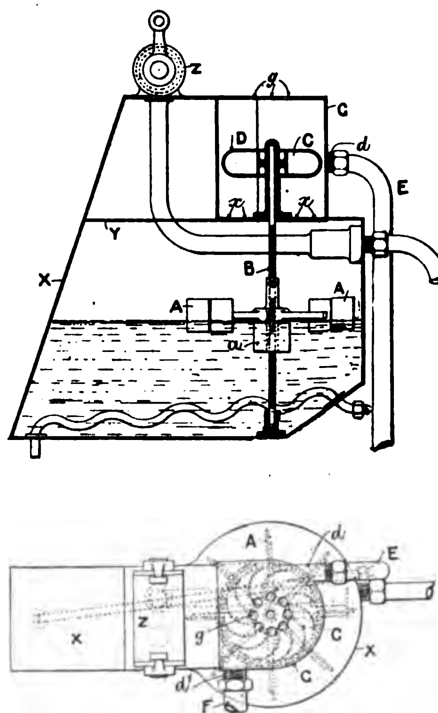


Fig. 165 et 166.

mis en rotation par l'échappement au moyen d'une turbine G, qui reçoit les gaz d'échappement par E*d* et les évacue par

*d'*F. L'air pénètre en X par *gx*, en réchauffant sur G, et le mélange d'air et de vapeur de gazoline est aspiré, de Z, au travers de la toile métallique Y.

CARBURATEUR JAPY

Le pétrole arrive par B*b* (*fig.* 167) et la soupape G, en A, en quantité réglée par la gorge *b*, dont on fixe la dimension par la douille G, fixée par la tige D de G, et retenue par la

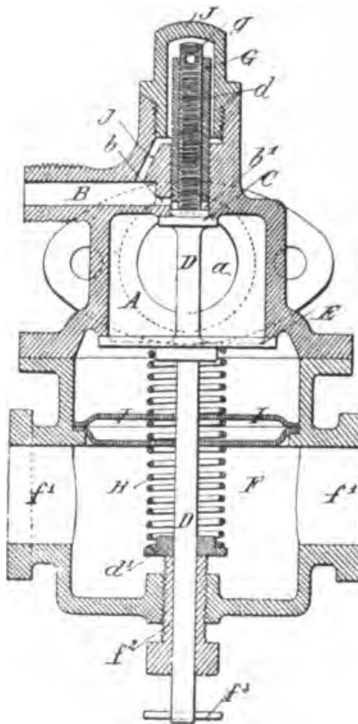


Fig. 167.

goupille *g*, et la soupape G le pulvérise dans l'air aspiré en A par *a*; puis ce mélange passe à l'aspiration $f_1 f_1$ du moteur par E et les toiles métalliques I, qui en achèvent le brassage.

Le ressort F se règle par l'écrou f_2, et on peut manœuvrer D à la main par f_3.

VAPORISATEUR SPIEL

Spiel emploie (*fig.* 168), comme accumulateur de chaleur et allumeur spontané, une série de disques métalliques *a*, logés à

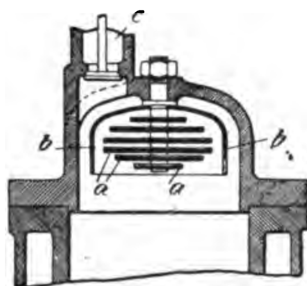


Fig. 168. – Vaporisateur Spiel.

l'intérieur de la cloche *b*, sur laquelle vient se vaporiser le pétrole pulvérisé admis par *c* avec son air de combustion.

VAPORISATEUR ARROL

Dans l'appareil de sir W. Arrol (*fig.* 169), les surfaces capillaires sont disposées dans les trous A d'un disque B tournant dans la gazoline H, et traversé par une partie de l'air admis en L, en K, en proportions réglées par M.

VAPORISATEUR DE SOUTHEY ET DE ROWBOTHAM

On a parfois proposé d'employer, pour volatiliser le pétrole, la chaleur dégagée par le passage d'un courant électrique au travers d'une résistance ; nous citerons, parmi ces dispositifs, ceux de Clubbe Southey et de Rowbotham.

Dans l'appareil de Southey, la résistance (*fig.* 171), constituée

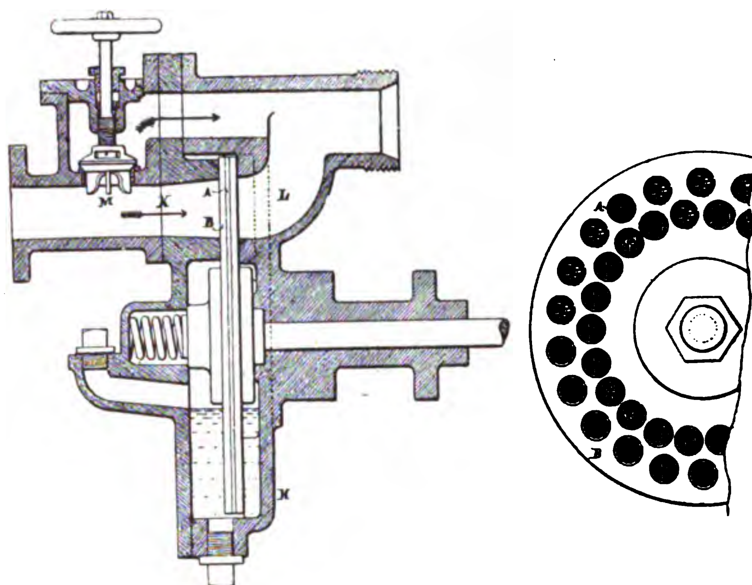


Fig. 169 et 170. — Vaporisateur Arrol.

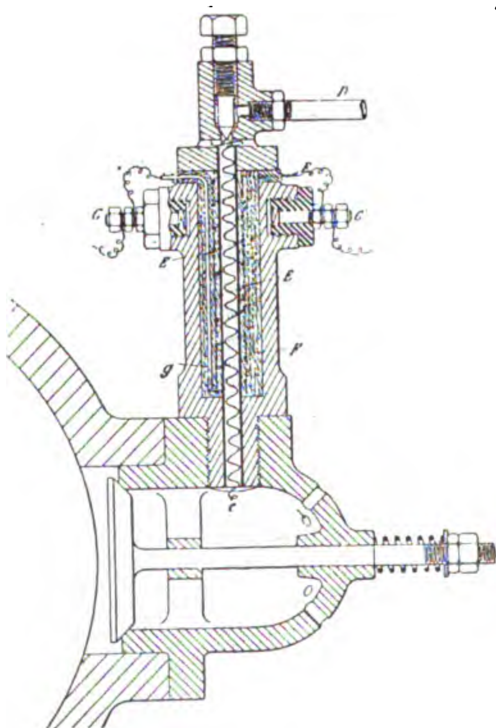


Fig. 171.
Vaporisateur électrique Southey.

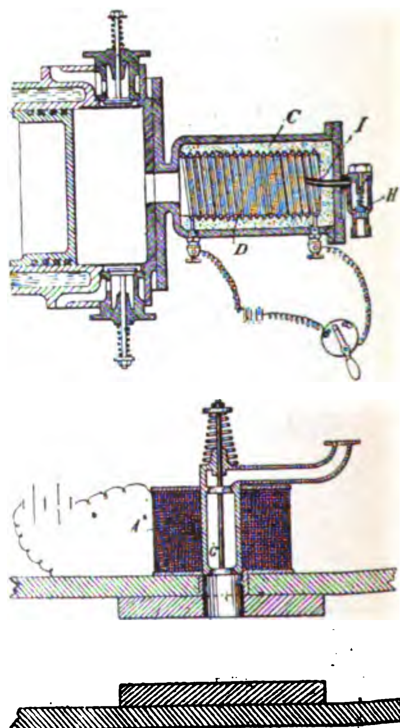


Fig. 172 et 173.
Vaporisateurs électriques Rowbotham.

par une hélice en platine EE, empaquetée d'amiante, reliée aux bornes G et G', est disposée, dans le vaporisateur, autour d'un tube de cuivre à spirale *c*, sur laquelle descend en s'étalant le pétrole admis par D. L'hélice D de M. Rowbotham est (*fig.* 172) posée sur l'isolant G du vaporisateur, dans l'axe même de l'injection de pétrole par HI et, très logiquement, ne sert qu'à la mise en train, en remplaçant la lampe de chauffage, sans doute avantageusement, toutes les fois que l'on dispose d'un courant suffisant. En figure 173, la résistance A_3 est enroulée, à l'extérieur de la chambre de vaporisation G, et en figure 172, dans cette chambre même, mais protégée par une enveloppe A.

Le moteur à pétrole semble devoir donner la solution du sous-marin autonome : il est léger, peu encombrant, et sa mise en marche ainsi que son arrêt sont instantanés. Comme force proportionnelle, c'est ce moteur qui, lui aussi, remporte la victoire, et de beaucoup, sur l'électricité ; en effet, dit M. de Lavalette :

Si nous nous reportons aux chiffres donnés par M. Marcel Déprez, membre de l'Institut, nous trouvons, ne considérant que les générateurs les plus employés, que pour la traction sur route le travail disponible à la jante des roues est de :

675.000	kilogrammètres par kilogramme de pétrole ;		
67.500	—	—	de charbon ;
5.800	—	par kilogramme brut d'accumulateurs.	

C'est maintenant que s'accuse nettement l'infériorité de l'électricité, puisque, de tous les générateurs électriques portatifs, l'accumulateur est encore le plus pratique.

D'autre part, si nous supposons, comme l'admettent beaucoup de constructeurs, un effort moyen de traction sur route de 30 à 40 kilogrammes par tonne, avec une dépense de 4 kilogrammes de charbon par cheval-heure, chiffre évidemment exagéré, on trouve :

Que 1 kilogramme de charbon peut transporter 1 tonne à 1^k,500, alors que, si l'on admet pour les accumulateurs une

capacité de 12 ampères-heures par kilogramme, avec un débit de 5 à 6 ampères par kilogramme, ce qui est énorme, et un moteur électrique donnant 70 0/0 de rendement, on trouve égalcment que 1 kilogramme d'accumulateurs ne peut mener 1 tonne qu'à 145 mètres.

Enfin, si l'on applique ces chiffres sur une voiture de 4.000 kilogrammes, on calcule qu'il faudrait 400 kilogrammes de charbon pour lui faire parcourir 150 kilomètres, alors qu'il faudrait 2.800 kilogrammes d'accumulateurs pour effectuer le même trajet, toutes choses égales d'ailleurs.

Dans le cas d'accumulateurs, on voit que le véhicule et son moteur devraient compter pour moins de la moitié du poids total, c'est-à-dire ne pas dépasser 1^{T},200. Notre combinaison serait donc irréalisable dans ce cas particulier.

Par ce qui précède, nous voyons donc que la solution consiste à avoir une propulsion mixte permettant de réaliser un cycle d'opérations parfaites.

L'emploi des hydrocarbures étant destinées à jouer un rôle important dans toutes les branches de l'industrie, nous avons cru intéressant, avant de passer à la description des moteurs à pétrole, de rechercher et de grouper ici par ordre chronologique les premières applications industrielles de cette précieuse substance.

III. — CONSIDÉRATIONS SUR LES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DU PÉTROLE

C'est vers l'année 1868 que datent les premiers essais de chauffage au pétrole. Le yacht *Puebla*, appartenant à Napoléon III, est le premier bateau qui eut la primeur de cette nouveauté. De nombreux essais furent tentés dans cette voie à bord des bâtiments de guerre.

Le Gaulois et *le Charlemagne*, nos deux derniers cuirassés construits à Brest, sont pourvus de brûleurs à pétrole ; des

réservoirs établis à bord permettent d'en emmagasiner 20 tonnes.

L'Allemagne a tenté également des essais, qui ont donné de très bons résultats: nous citerons la *Caracola*, le *Seigfreid* et quelques torpilleurs.

L'Angleterre, les Etats-Unis, la Russie, l'Autriche et l'Italie ont aussi expérimenté ce nouveau mode de chauffage, qui leur a permis de réaliser une vitesse plus grande tout en augmentant leur rayon d'action.

L'emploi du pétrole s'est ensuite répandu et généralisé dans le monde entier. La grande quantité importée chez nous a conduit les raffineurs à perfectionner leurs appareils distillatoires, desquels ils recueillent aujourd'hui une foule de produits et de sous-produits provenant de la distillation et du raffinage.

Depuis l'éther de pétrole dont la densité est de 630, jusqu'à la paraffine (densité, 870), et les produits .intermédiaires, gazoline (densité, 650), stéline, Benzomoteur (680) ; toutes ces essences sont employées couramment aujourd'hui dans les automobiles, l'essence minérale à 700, et le pétrole lampant ; ces deux derniers produits servent plus spécialement à l'éclairage ; ensuite viennent des huiles de graissage claires et épaisses connues dans le commerce sous la dénomination générique d'huiles russes, de valvolines, cylindrines, etc. ; la vaseline et la paraffine 870, dont les résidus sont employés au chauffage des chaudières à vapeur, auxquelles ils donnent d'excellents résultats.

Le pétrole, en raison de la diversité de ses dérivés, est employé sous plusieurs formes pour produire la force motrice.

Actuellement le nombre des moteurs alimenté par ce combustible est incalculable.

De prime abord les inventeurs qui s'occupèrent de la construction des moteurs à pétrole fut très restreint ; le public restait sceptique et ne voulait pas croire au succès de cette découverte, qu'il croyait limité à quelques chevaux seulement.

A l'Exposition du Travail de 1885 — 4 moteurs à pétrole seulement étaient exposés par MM. Lenoir, Forest, Otto, Spiel.

En 1886, nous voyons circuler sur la Seine le premier bateau à pétrole, *le Volapück*, dont l'hélice était actionnée par un moteur à pétrole de 6 chevaux, de Forest.

L'année suivante, à l'Exposition du Havre (1887), était exposée une seconde embarcation de 7 mètres actionnée par un moteur à pétrole de 3 chevaux, de Lenoir.

Ces deux embarcations ont été l'enfance de la locomotion automobile à pétrole en France ; nous les citons en passant en raison de leur intérêt historique, dans le grand mouvement d'automobilisme qui a suivi.

Actuellement les moteurs à pétrole de 100 chevaux fonctionnent aussi régulièrement que les moteurs à gaz et les machines à vapeur, et, si les moteurs de puissances plus grandes ne se sont pas développés, l'écueil est dû encore au prix de revient élevé de ce combustible en Europe, résultant des droits perçus par les pays d'origine auxquels viennent s'ajouter, en France, les droits exorbitants et même prohibitifs de douane

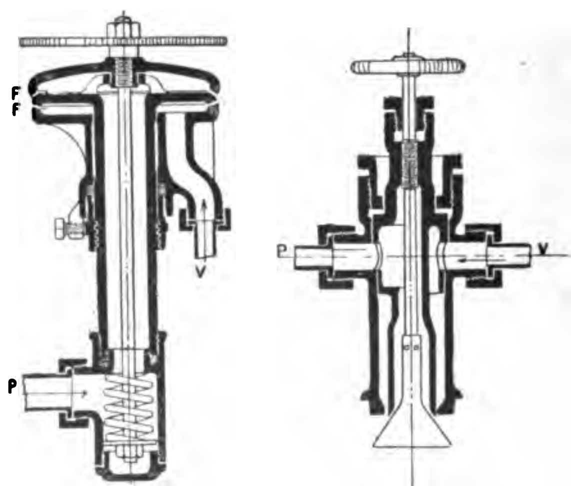


Fig. 174 et 175. — Brûleur Larkin.

et d'octroi, et il ne semble pas, malheureusement, que cette difficulté soit très facile à résoudre dans des pays aussi éloignés que les nôtres des régions pétrolifères.

Les moteurs à pétrole sont de trois sortes:

1° Les moteurs à essences, alimentés avec les gazolines, stélines, Moto, et les essences minérales de 650 à 720 de densité ;

2° Les moteurs à pétrole lampant ; densité : 820 à 840 ;

3° Et les moteurs à pétrole brut : tel qu'il sort des puits, 865 à 885.

Dans son application au chauffage des chaudières à vapeur, on se sert de brûleurs, parmi lesquels nous citerons ceux de d'Allest, de Lentz, Kauffmann, Karapetoff, Brandt, Widenief, Dunder, Anderson, Urguhort, Larkin, etc., etc.

Ces divers appareils ont pour but de lancer le pétrole sous pression et de lui mélanger la quantité d'air nécessaire à sa combustion complète ; dans certains brûleurs, l'on injecte le pétrole mélangé d'air et de vapeur d'eau.

FOYERS HOLDEN BELL ET TAITE

L'air arrive (*fig*. 178) au centre du jet par le tube 7, réglable en 4, la vapeur arrive, par 3_1 et les orifices 2*a*, dans l'espace annulaire 6, réservé entre les tubes 7 et 2, et aussi par 25 — 26 — 24 — 23 — 22 aux jets en couronne 27. Le pétrole arrive de 18*a* par 18 et la soupape 14-15, et, suivant la levée de cette soupape, par 19 — 21 — 12, soit pour amorcer l'appareil, par 16 et 19 dans l'espace annulaire 5 autour de 2, soit à la fois dans 5, et par 17 — 10 — 11 au-dessus de 1, se mêlant ainsi à l'air et à la vapeur entraînés par 27, 1 et 1^b. On peut ainsi obtenir, avec une faible quantité de vapeur, un jet de pétrole effectivement brûlé et assez puissant pour les chaudières express. Dans le dispositif pour locomotives (*fig*. 179) l'amenée 8*a* du pétrole communique avec une pièce 12*a*. à deux tubulures reliées l'une, 9*a*, avec le jet, et l'autre, 10*a*, avec le tuyau complémentaire 11, et ces deux tubulures sont commandées par un même robinet 15*a*, qui peut, soit faire communiquer 8*a* avec 9*a* par 16*a*, soit, en soulevant 15*a*, faire

communiquer 9*a* à la fois directement avec 8*a* et avec 11 par 10*a*, 17*a*. L'anneau 22 envoie des jets de vapeur complémentaires, comme dans l'appareil précédent. En figure 177, la vapeur d'eau est remplacée par du pétrole aspiré de 29 par la pompe 28 et refoulé au vaporisateur 30, relié aux injecteurs *a*, *a*, ali-

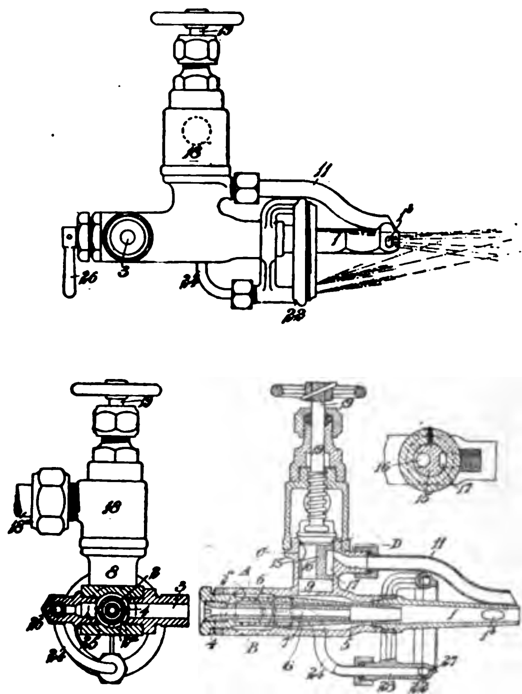


Fig. 176, 177 et 178.

mentés de pétrole par 34, par un tuyau 32, avec soupape de sûreté 33, renvoyant l'excédent de vapeur de pétrole en 29 par le condensateur 32*a*.

Il y a une dizaine d'années, la maison Yarrow a fait breveter un type de chaudière formé par un tube roulé en serpentin, dans lequel circule du pétrole qui est vaporisé. Cette vapeur de pétrole sert non seulement à produire la poussée motrice sur les pistons, mais encore à alimenter les brûleurs de la chaudière. La machine est à condensation ; elle est appliquée à

des embarcations, et le condenseur est formé d'un simple tube placé à l'extérieur de la coque et de chaque côté de la quille ; la vapeur condensée est ensuite injectée de nouveau dans la chaudière avec les essences légères.

Les puissances théoriques de vaporisation de l'eau, affé-

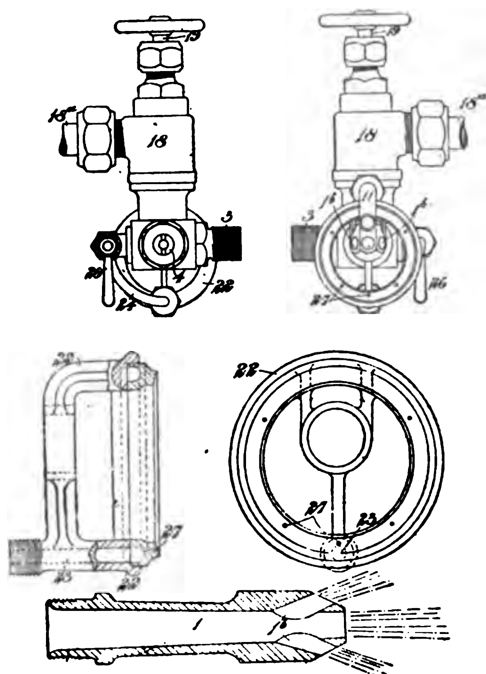


Fig. 179, 180, et 181.

rentes aux divers combustibles liquides, sont les suivantes, qu'il est facile de comparer à la houille[1].

Un kilogramme de houille de bonne qualité peut réduire en vapeur, à 100°, 14kg,61 d'eau.

Si l'on emploie les résidus du pétrole, le poids d'eau réduit en vapeur par kilogramme de combustible sera de 21kg,53.

Avec 1 kilogramme d'huile lourde du Caucase, on vaporise 20kg,35 d'eau.

[1] Le poids de l'eau vaporisée s'entend toujours de la vapeur d'eau ramenée à 100°.

Si l'on emploie de l'huile lourde de Pensylvanie, le poids d'eau vaporisé par kilogramme de combustible est de 20^{kg},48.

Enfin, avec 1 kilogramme d'huile légère brute du Caucase, on arrive à vaporiser 22^{kg},79 d'eau à 100°.

De même qu'à poids égal, l'astatkis, ou mazout, produit presque 2 fois plus de force que le charbon ; il est en outre beaucoup moins encombrant, car il remplit intégralement l'espace qui lui est assigné ; il permet d'utiliser les doubles fonds du navire, ce qui augmente la stabilité de poids et laisse disponibles les espaces réservés jusqu'ici aux soutes à charbon. L'embarquement du charbon et l'arrimage dans les soutes, si longs et si pénibles, est remplacé par le jeu d'une pompe aspirante et foulante. En pleine mer, le navire chargé d'astatkis donne la remorque au navire à ravitailler et lui file une manche qui sert de trait d'union entre les soutes réservoirs des deux bâtiments.

Citons, en passant, l'application la plus grandiose du chauffage au pétrole qui ait été faite de nos jours. Nous voulons parler de la fameuse batterie de 52 chaudières de la galerie annexe du palais des Machines, à l'Exposition de Chicago. Cette batterie fournissait une puissance de 25.000 chevaux. Le service était assuré seulement par deux chauffeurs tout habillés de blanc ; ces chauffeurs tournaient çà et là des vannes et des robinets. A l'extrémité de la galerie, dans un poste d'observation, était un surveillant chargé de veiller à la fumivorité. Il signalait sur un tableau électrique toute chaudière donnant un peu de fumée. Aussitôt le foyer était réglé et la fumée disparaissait.

Enfin nous signalerons également, comme exemple frappant de distribution d'énergie par le gaz, l'un des transports de *Natural Gas* ou « Gaz naturel » fourni par les exploitations pétrolifères des Etats-Unis, celui de l'*Indiana Natural Gas and oil Company*. Le gaz, capté aux puits de Greentown, sous une pression de 20 atmosphères, puis comprimé à 40 atmosphères, est amené sous cette pression à Chicago par une double canalisation dont la longueur est de 185 kilomètres, formée de tubes

en fer de 200 millimètres de diamètre, à joints coniques filetés. Cette canalisation merveilleuse perd au plus 5 à 6 0/0 de son gaz. Cette canalisation peut débiter, à l'arrivée à Chicago, jusqu'à 110.000 mètres cubes par heure sous une pression de 20 atmosphères, ce qui est équivalent, grâce à sa grande puissance calorifique (8.500 calories par mètre cube), à 70.000 chevaux en moteurs à gaz. C'est assurément le transport d'énergie immédiatement disponible à longue distance le plus puissant que l'on connaisse.

Par ce qui précède et d'après les expériences effectuées jusqu'à ce jour, on peut conclure que l'emploi du combustible liquide est actuellement sorti de la période de tâtonnements et d'essais et qu'il peut être considéré comme un moyen idéal de production de force motrice.

En signalant ces diverses applications qui sont en dehors de notre cadre, nous avons eu pour but de démontrer le parti que l'on peut tirer du pétrole et de ses dérivés, employés à la propulsion des bateaux sous-marins, soit en l'employant comme combustible liquide, soit directement à l'état gazeux dans les cylindres moteurs.

IV. — DES MOTEURS ET LEUR EMPLOI A BORD DES SOUS-MARINS

Dans un sous-marin électrique, le poids du moteur et du générateur reste sensiblement invariable; il n'en est pas de même pour les moteurs à combustion sous-pression, où le poids de combustible diminue au fur et à mesure de la consommation.

Pour les sous-marins autonomes, il faut donc prévoir, ainsi que nous l'avons vu dans le chapitre I, des réservoirs compensateurs, dans lesquels l'on fait entrer automatiquement une quantité d'eau équivalente en poids à la quantité de combustible consommé.

Si nous envisageons maintenant un sous-marin autonome de mêmes dimensions que celui décrit au commencement de

ce chapitre et dont la vitesse sera de 13 nœuds en émersion et 8 en immersion, nous aurons :

$$F = \frac{8^3 \times 6}{3^3} = 113 \text{ chevaux.}$$

L'électromoteur se trouve réduit de près des 4/5, et les accumulateurs dans les mêmes proportions, un peu plus grandes, puisque la marche à la surface est fournie par le moteur auxiliaire, si nous supposons un électromoteur de 150 chevaux en chiffre rond.

Pour établir le calcul de la batterie qui devra développer 150 chevaux à ses bornes, nous poserons :

$$ei = 150 \times 736 = 110.400 \text{ watts.}$$

Si nous choisissons le régime de 200 volts, comme différence de potentiel, et 2 volts, la différence de potentiel moyenne à la décharge d'un élément, le nombre des éléments montés en tension sera :

$$\frac{200}{2} = 100.$$

La batterie sera donc constituée de 100 éléments.

L'intensité totale sera :

$$i = \frac{150 \times 736}{200} = 552 \text{ ampères.}$$

Le poids total des plaques, en admettant un débit de puissance maximum de 3,5 ampères par kilogramme de plaques, sera égal à :

$$P = \frac{552 \times 100}{3,5} = 15.770 \text{ kilogrammes ;}$$

nous obtiendrons le poids de la batterie complète, y compris le liquide acidulé, les bacs et les connexions, en multipliant le

poids des plaques par le coefficient 1,30, soit:

$$15.770 \times 1,30 = 20.500 \text{ kilogrammes.}$$

Le poids total de la batterie serait donc de 20.500 kilogrammes.

Etant donnée la force de 500 chevaux, nécessaire pour obtenir la vitesse de 13 nœuds en émersion, pour choisir le moteur auxiliaire, nous allons examiner les avantages et les inconvénients de la vapeur et du pétrole. Un générateur de vapeur de 500 chevaux peut-il être chauffé au charbon ou au pétrole.

Le chauffage au charbon doit être abandonné pour différentes raisons : difficulté d'arrimage du combustible à bord d'une coque cylindrique, dégagement de fumée qui décèle la présence du torpilleur. Il y a d'autres motifs; mais ces deux-là sont suffisants pour éliminer ce mode de chauffage à bord des sous-marins.

Le chauffage au pétrole, en employant les brûleurs et les chaudières genre d'Allest, peut être admis, car il présente des avantages incontestables sur le chauffage au charbon; il ne produit pas de fumée; il peut être arrimé facilement à bord, dans des caisses à compartiments compensateurs. Mais la chaudière encombre l'intérieur et sépare la coque en deux compartiments. Le moteur à pétrole possède les avantages du chauffage au pétrole, et il en présente d'autres, étudié spécialement en vue de son application à bord des sous-marins; il laisse de chaque bord un espace libre formant coursive, facilitant l'accès du compartiment A^{V} au compartiment A^{R}. Le rendement du moteur à pétrole, étant de 3 à 4 fois plus grand que celui du chauffage au pétrole ; le rayon d'action du moteur à pétrole est donc trois ou quatre fois plus grand, à consommation égale, que celui du chauffage au pétrole.

Nous décrirons dans ce chapitre quelques moteurs à pétrole, types marins.

La navigation de plaisance étant moins en faveur en France

que chez nos voisins, le nombre des constructeurs qui se sont occupés de ces moteurs est très restreint, surtout pour les forces qui nous intéressent.

C'est l'étude de moteurs puissants et des recherches faites

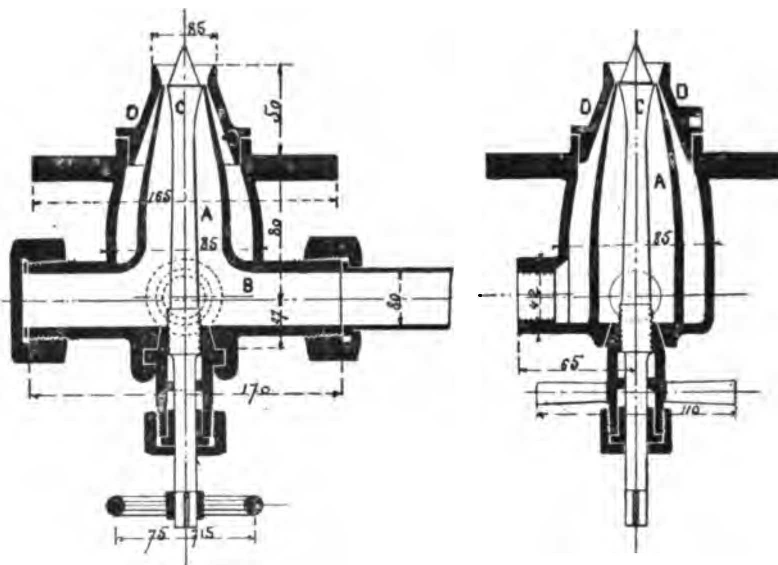


FIG. 182 et 183. — Brûleur système d'Allest.

sur la navigation sous-marine qui nous a conduit à publier cet ouvrage.

Nous allons donc décrire quelques moteurs susceptibles d'être appliqués à ce genre de navigation tout spécial.

V. — MOTEUR A PÉTROLE A RENVERSEMENT DE MARCHE AUTOMATIQUE

Le moteur à pétrole, comme le moteur à gaz, est alimenté par un générateur fonctionnant à la pression ambiante; il est donc nécessaire de donner au volant une impulsion à la main d'au moins deux tours, afin de produire la première charge.

Une fois le moteur en marche, la distribution règle les différentes périodes d'admission, de compression, d'allumage et

d'échappement. Il est évident que si on laisse le moteur s'arrêter, il faudra recommencer l'opération préliminaire en tournant le volant à la main soit dans un sens ou dans l'autre, si le moteur en question est pourvu de deux distributeurs.

Moteur a renversement de marche F. Forest et Gallice

Ce moteur est à quatre temps et à quatre cylindres qui se trouvent à des périodes différentes. Il porte, sur le même arbre de distribution, quatre cames dont les profils correspondent à la marche AV et quatre autres à la marche AR. Un commutateur distribue le courant induit d'une bobine de Rumkhorf aux quatre cylindres et un manchon portant huit plots, quatre pour la marche AV, quatre pour la marche AR, donne des contacts d'allumages pour les deux sens de marche.

Quand le moteur est en marche dans un sens quelconque, on obtient la marche en sens inverse en manœuvrant le levier de changement de marche, qui suspend tout d'abord l'allumage, le moteur ralentit sa marche, tout en continuant à charger les cylindres de mélange gazeux, les robinets étant restés ouverts; puis, tout en continuant à manœuvrer le levier de changement de marche, les périodes d'allumage en jeu se changent, et les cames de marche inverse entrent en action; le moteur renverse sa marche sans avoir subi d'arrêt.

Le moteur revient à sa marche primitive par une manœuvre inverse.

Pour un arrêt du moteur de quelques minutes seulement, au lieu de fermer les robinets d'air et de gaz, on les laisse ouverts et on supprime l'allumage; le moteur s'arrête ayant ses quatre cylindres à demi chargés. En ramenant l'interrupteur dans le circuit, il suffit alors de presser sur un bouton qui produit un contact spécial d'allumage dans l'un des quatre cylindres, et le moteur se remet en marche automatiquement, sans avoir besoin de tourner au volant.

Actuellement c'est le seul moteur à pétrole qui fonctionne dans les deux sens automatiquement.

Une centaine de ces moteurs ont été appliqués à la navigation de plaisance. Nous citerons pour mémoire le moteur de

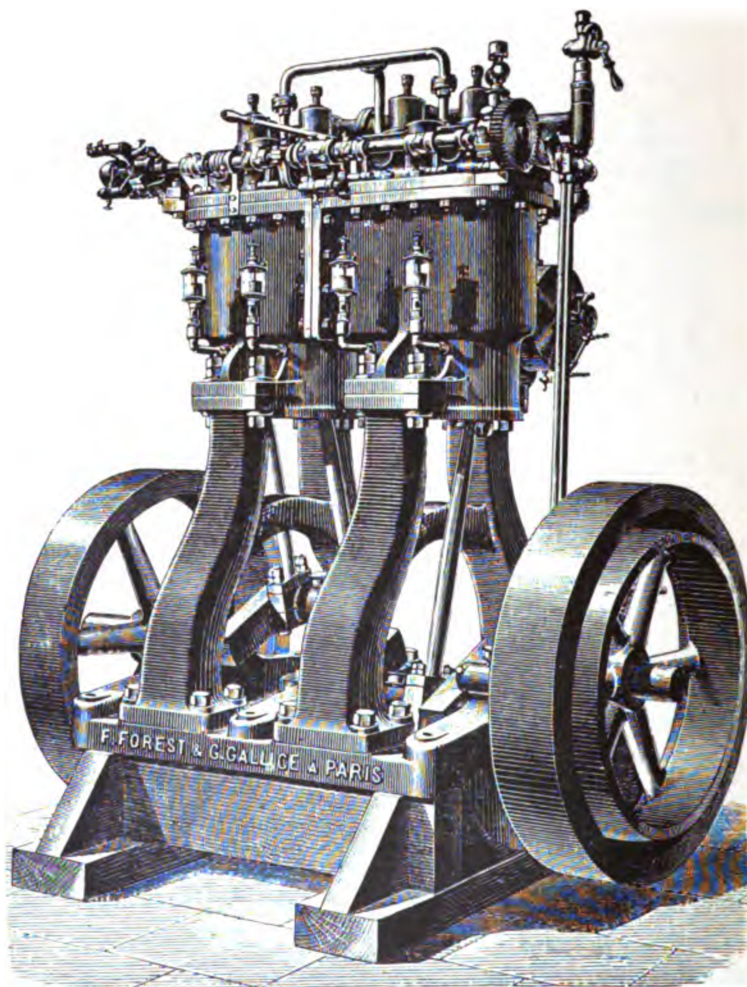


Fig. 184. — Moteur à renversement de marche Forest et Gallice.

40 chevaux, à renversement de marche, du yacht *Jolie Brise* construit en 1889.

MOTEURS A QUATRE CYLINDRES A COMPRESSION ET A DÉTENTE VARIABLES FOREST ET GALLICE

En étudiant le travail de nos moteurs à l'aide de diagrammes pris sur les cylindres, nous avons pu nous rendre compte que les gaz qui sont rejetés à l'atmosphère par la conduite d'échappement, ont encore une tension voisine de 2 atmosphères.

Nous avons pensé qu'il serait intéressant de les utiliser, pour la double raison qu'en récupérant un travail perdu, nous l'augmenterions encore en réduisant d'autant la résistance du piston à l'échappement. En examinant les diagrammes, il nous, semblait qu'il suffirait d'allonger la course afin que la courbe de détente se rapproche de la ligne atmosphérique du diagramme; mais la course serait également allongée pour les autres périodes, et le volume engendré augmenterait dans les mêmes proportions, tandis que notre but est de le réduire, et le diagramme que nous obtiendrions à nouveau serait semblable aux précédents.

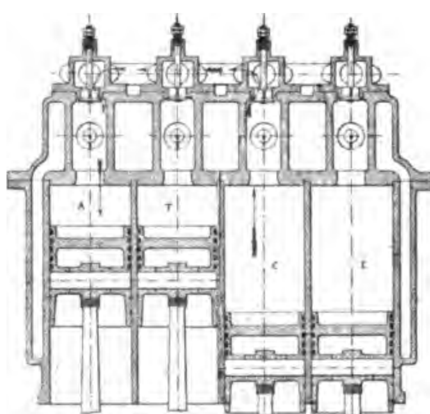


Fig. 185.

Comme nous ne pouvions rallonger la course de détente sans rallonger également la course d'admission, tournant ainsi dans un cercle vicieux, l'idée nous vint de poser le problème différemment : réduire l'admission par la compression. Ainsi posé, le problème était résolu de la façon suivante : Dans nos moteurs à quatre cylindres, les pistons sont attelés par couple sur deux manivelles calées à 180° (*fig* 191), de telle sorte que les quatre cylindres se trouvent respectivement le premier à

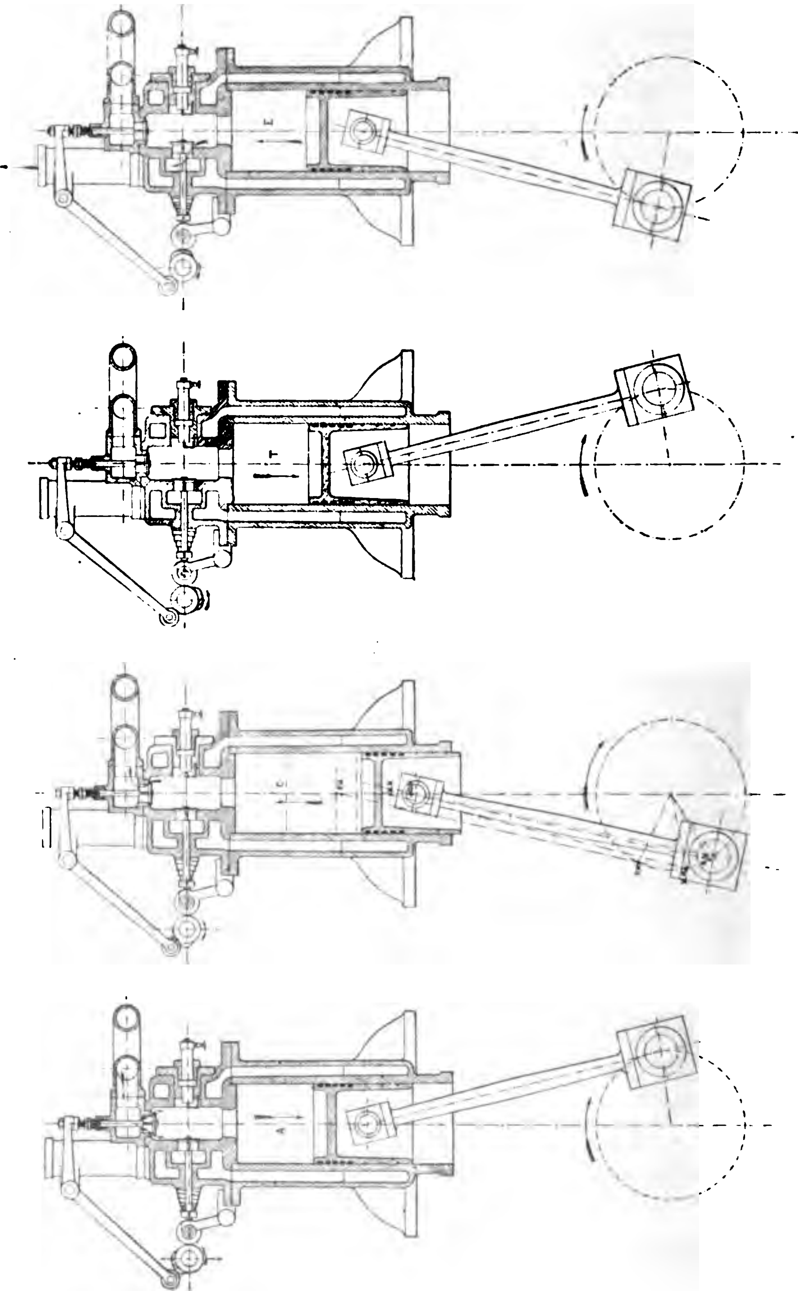
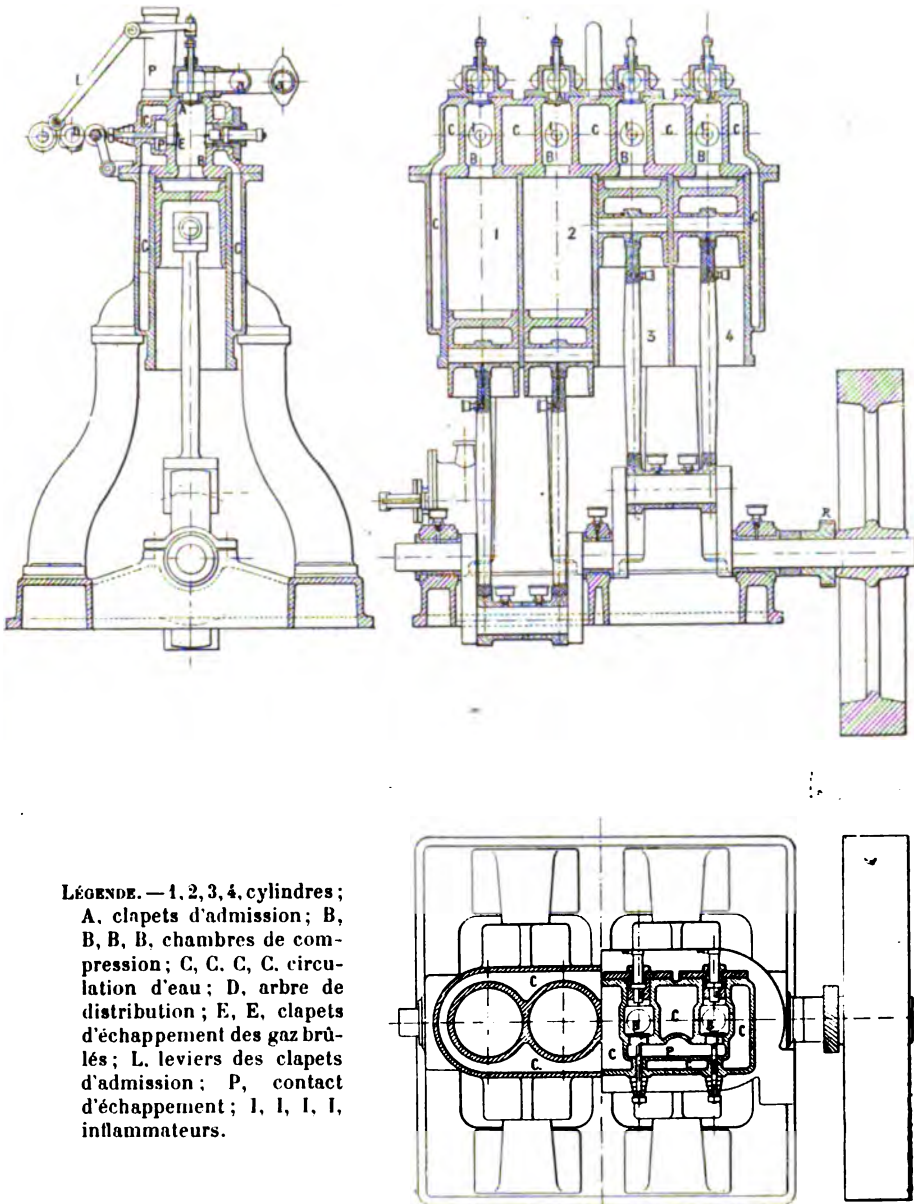


FIG. 186, 187, 188 et 189.



Légende. — 1, 2, 3, 4, cylindres ; A, clapets d'admission ; B, B, B, B, chambres de compression ; C, C, C, C, circulation d'eau ; D, arbre de distribution ; E, E, clapets d'échappement des gaz brûlés ; L, leviers des clapets d'admission ; P, contact d'échappement ; I, I, I, I, inflammateurs.

Fig. 190, 191 et 192. — Moteur à pétrole à 4 cylindres à changement de marche, système Forest et Gallice.

l'admission, le deuxième en travail, le troisième à la compression et le quatrième à l'échappement (*fig.* 185).

Nous avons donc deux cylindres qui se trouvent à des périodes diamétralement opposées, le cylindre 1 à l'admission et le cylindre 3 à la compression. Ce dernier cylindre est plein du mélange gazeux engendré par la surface du piston et par sa course; ce volume est trop grand, les diagrammes nous ont indiqué qu'il fallait le réduire ; nous y sommes parvenus en faisant passer l'excédent du cylindre C dans le cylindre A, en disposant un jeu de cames dont les profils font varier la compression dans le rapport de 1 à 10, en maintenant en communication et à tour de rôle le cylindre qui admet avec celui qui comprime. Lorsque le piston du cylindre C a refoulé dans le cylindre A, 1/4, 1/3 ou 1/2 cylindrée, le volume restant en C correspondant alors au travail à produire, la came ferme le clapet d'admission du cylindre C; le piston comprime ce volume, pendant que le piston A, appelle au carburateur et à l'air ambiant le complément de sa cylindrée, lorsqu'il arrivera à fond de course, le piston E aura fini d'évacuer les gaz brûlés et commencera sa période d'admission, tandis que le cylindre A commencera sa compression et refoulera dans le cylindre E son excédent de mélange, ces deux cylindres étant mis à leur tour en communication. Le cylindre E refoulera à son tour en T et T en G pour terminer le cycle.

Nous avons réalisé ainsi un moteur rationnel à compression et à détente variables dont toutes les courses sont motrices, qui assurent une régularité de marche et une élasticité de puissance que l'on ne peut obtenir du moteur mono-cylindrique.

Moteur a huile lourde de 500 chevaux, système F. Forest

Ce moteur, que nous avons étudié spécialement en vue de son application à la navigation sous-marine, présente plusieurs particularités dans la forme extérieure et dans la distribution, nous donnons des vues de deux moteurs, un à 24 et l'autre à 18 cylindres.

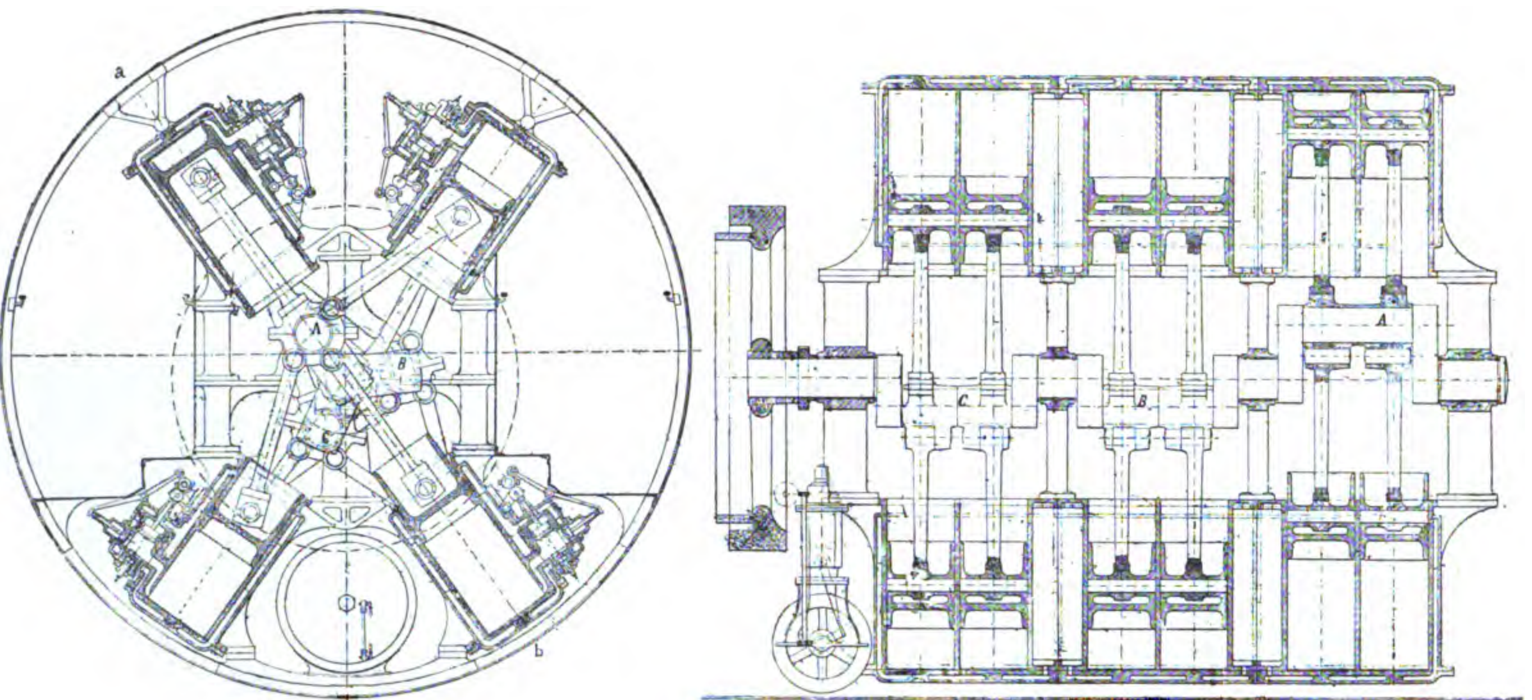


Fig. 193 et 194. — Coupes transversale et longitudinale d'un moteur à pétrole de 500 chevaux à 24 cylindres, système Forest.

L'ensemble du second moteur est constitué par dix-huit cylindres formant trois groupes rayonnant de six cylindres placés à 120°, dans un plan parallèle à l'arbre moteur (*fig.* 195).

Les pistons transmettent leur travail à un arbre à trois coudes calés à 120° par le jeu de dix-huit bielles, chaque coude étant naturellement commandé par six bielles correspondant à trois groupes de deux cylindres.

Le poids mort par rapport au poids total est très réduit, le cheval de 75 kilogrammètres étant obtenu par un poids inférieur à 20 kilogrammes.

La distribution permet de faire travailler l'ensemble du moteur à trois puissances différentes : en supprimant d'abord un ou deux groupes, et ne laissant travailler le troisième à toute puissance, ou bien encore en réduisant la puissance d'un ou de deux tiers. On peut ainsi faire varier la puissance totale dans le rapport de 1 à 10, c'est-à-dire de 50 à 500 chevaux.

Le travail total est transmis à l'arbre par neuf poussées motrices par tour. Cette disposition permet de supprimer le volant ou tout au moins de le réduire considérablement.

Les réservoirs à pétrole peuvent fournir quarante-cinq heures de marche à 13 nœuds, soit 585 nœuds ou 1.082 kilomètres.

L'électromoteur peut fournir 8 nœuds pendant dix heures ou 80 nœuds, soit un parcours total de 665 nœuds, ou 1.230 kilomètres.

A la vitesse de 8 nœuds, le moteur à pétrole fournit cent quatre-vingt-dix heures de marche, soit 1.500 nœuds, plus 80 nœuds par l'électromoteur, soit un total de 1.600 nœuds ou 2.960 kilomètres.

Le rayon d'action du sous-marin autonome se trouve, par ce fait, considérablement augmenté.

Si nous supposons un sous-marin autonome de 35 mètres de longueur sur 2m,75 de diamètre et déplaçant 150 tonneaux, il pourra tenir la mer pendant huit jours et parcourir 3.000 kilomètres à la vitesse de 8 nœuds, ou bien encore maintenir une vitesse de 13 nœuds pendant cinquante heures consécutives.

D'après les chiffres qui précèdent, on peut estimer qu'un

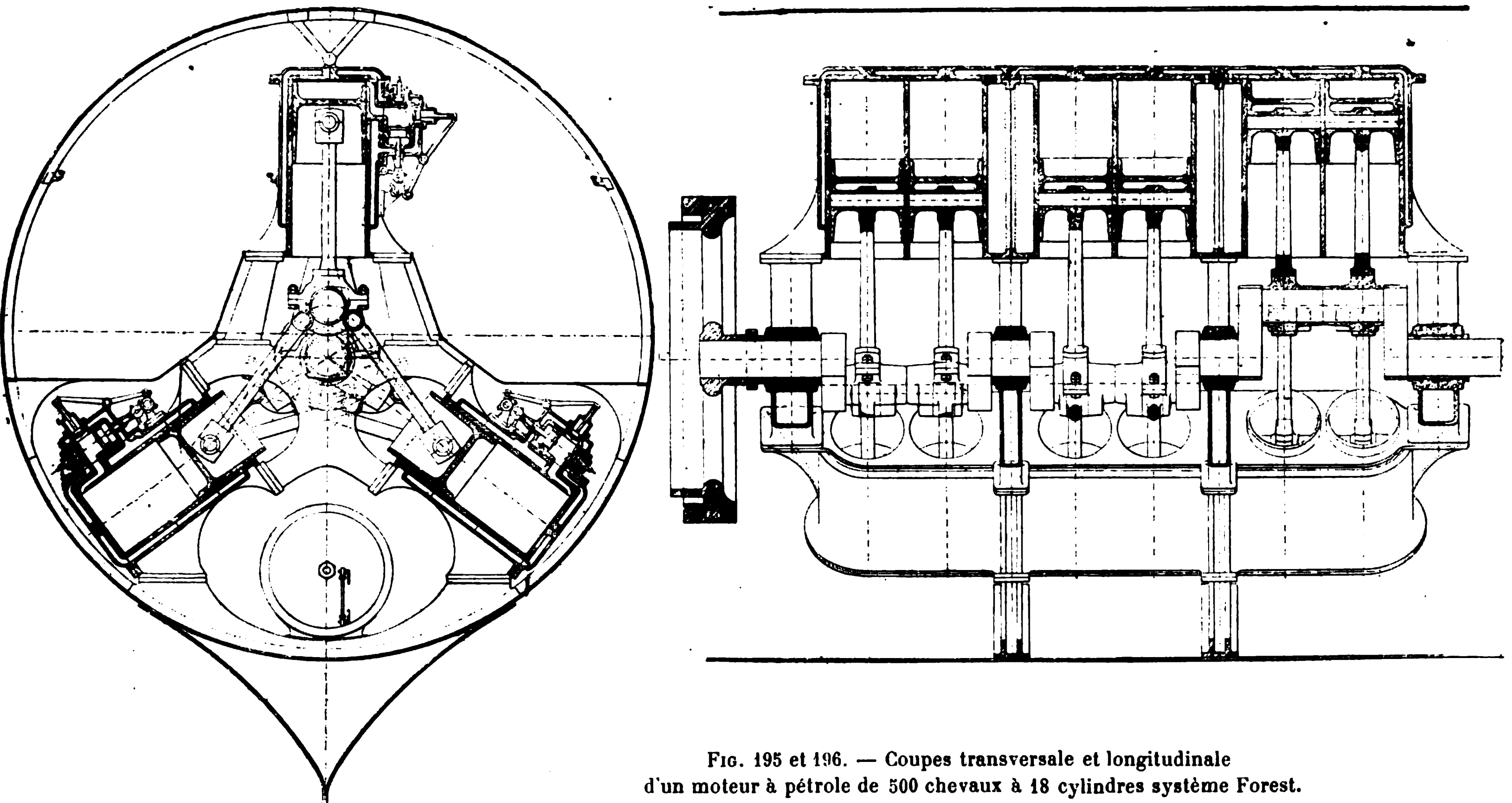


Fig. 195 et 196. — Coupes transversale et longitudinale
d'un moteur à pétrole de 500 chevaux à 18 cylindres système Forest.

sous-marin de 4 à 500 tonneaux peut parfaitement effectuer la traversée de l'Atlantique sans être obligé de se ravitailler en cours de route. Il n'y a rien d'exagéré dans ce que nous avançons ; cette traversée est dans les choses possibles et toutes naturelles. Nous voyons que nous sommes loin de l'inoubliable traversée du *Gustave-Zédé* entre Toulon et Marseille.

En résumé, par l'emploi des moteurs à hydrocarbures, on obtient les avantages suivants :

1° Mise en marche instantanée, sans perte de temps pour la mise en pression ;

2° Absence complète de fumée, qui décèle au loin la marche d'une embarcation à vapeur ;

3° Absence de dégagement de chaleur qui rendrait le sous-marin inhabitable ;

4° Renouvellement forcé de l'air dans la coque, lorsque le sous-marin en flottaison est actionné par ses moteurs à hydrocarbures ou par l'un d'eux ;

5° Emploi d'un combustible riche en carbone, lequel est complètement utilisé, sans résidu. Combustible facile à arrimer sans perte de place.

L'emploi de la dynamo, comme moteur, offre les avantages suivants :

1° Elle assure une marche absolument invisible, lorsque le sous-marin est en immersion ;

2° Elle ne vicie pas l'air renfermé dans la coque, et elle ne le raréfie pas, comme le ferait un moteur quelconque, ce qui permet de réduire considérablement le volume d'air comprimé dans les réservoirs et de limiter ce volume aux besoins de l'équipage et de certaines manœuvres ;

3° Elle n'exige pas de conserver une communication avec l'air extérieur, lorsque le sous-marin est en immersion.

Par l'aperçu sommaire de cette intéressante question, nous constatons qu'à l'heure actuelle on est arrivé à résoudre tout ou presque tout ce qui se rattache à la navigation sous-marine.

Nous pouvons donc dire sans hésiter que c'est grâce au pétrole que nous sommes redevables non seulement pour le

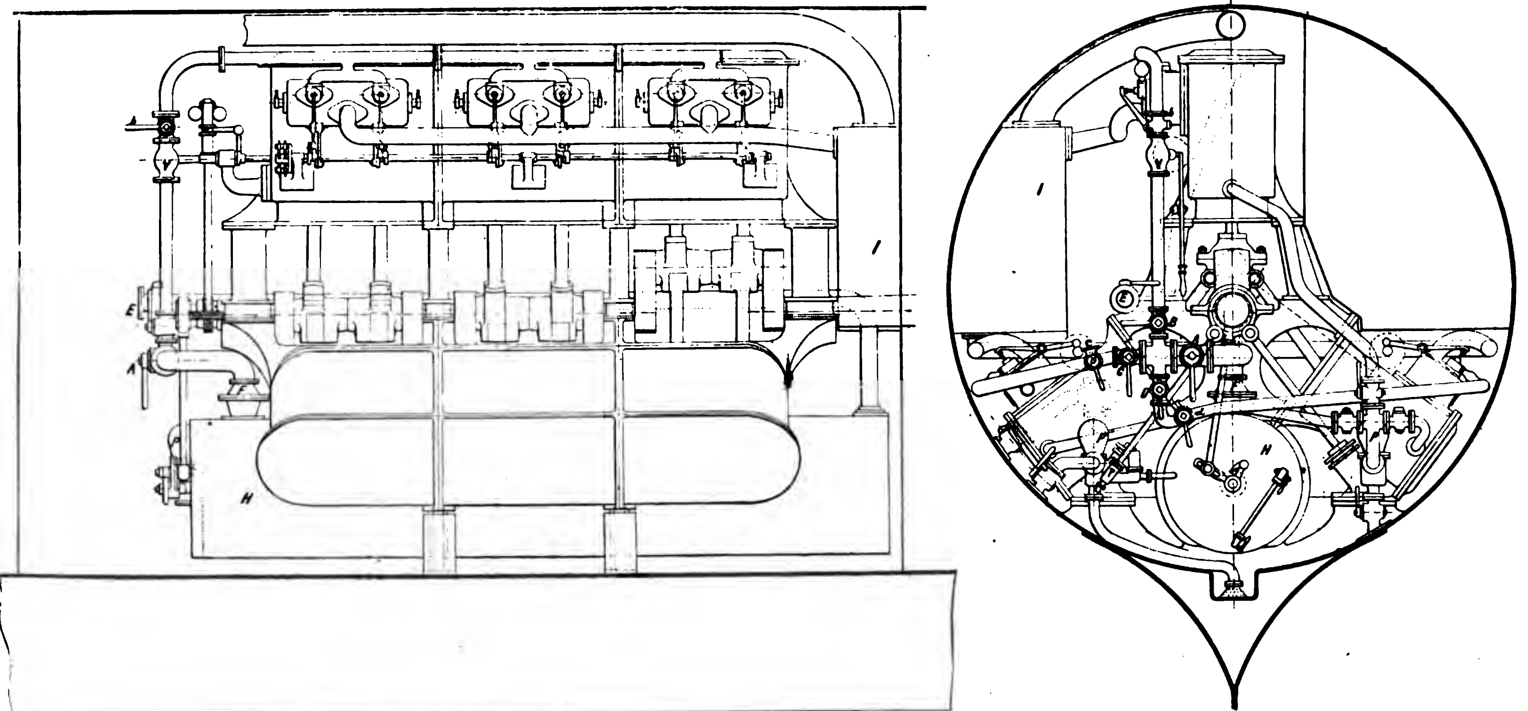


FIG. 197 et 198. — Vues extérieures, tuyautage et pompes d'un moteur à pétrole de 500 chevaux système Forest.

cas qui nous occupe, mais encore dans bien des branches de l'industrie.

En effet les moteurs à pétrole, quoique ayant déjà donné des résultats incontestables, ne sont pas près de s'arrêter en si beau chemin.

Espérons qu'il en sera de même des accumulateurs électriques; cette branche de la science, toute du domaine de l'électro-chimie, nous réserve peut-être des surprises.

Et, si alors l'espoir d'une marche simultanée des moteurs à pétrole et des accumulateurs électriques dans la voie du progrès se réalise, ce ne serait plus une utopie que de considérer comme accessible le rêve idéal de De La Landelle :

« Un cheval-vapeur dans un boîtier de montre. »

LE MOTEUR DIESEL[1]

Après une longue série d'études et d'essais poursuivis avec une méthode et une persévérance des plus remarquables, M. Diesel est parvenu à réaliser un moteur à combustion continue fonctionnant actuellement au pétrole, très ingénieux et appelé, croyons-nous, à réaliser un grand progrès dans l'industrie des moteurs à gaz, tant par son économie remarquable que par la facilité avec laquelle il se prête aux grandes puissances.

Nous avons, en raison de l'importance de ce moteur, donné ci-dessous la traduction presque *in extenso* de la communication faite à ce sujet par M. Diesel, en juin 1897, devant la *Société des ingénieurs allemands*.

Communication de M. Diesel

Dans une brochure publiée en 1893[2], j'ai fait remarquer que, dans toute combustion, il faut considérer deux températures :

1° La température d'inflammation du combustible;

[1] *Revue de mécanique.*
[2] *Theorie und Krodstruktion einer rationellen Warmemotors*, Berlin, J. Springer.

2° La température de combustion du cycle.

La *température d'inflammation* est celle à laquelle il faut chauffer le combustible pour qu'il s'allume en présence de l'air.

La *température de combustion* est celle qui se produit après l'inflammation, pendant la combustion même et par son action chimique.

La température d'inflammation est une constante qui ne dépend que des propriétés physiques du combustible. Elle est très basse pour la plupart des combustibles, et d'autant plus que la pression sous laquelle se fait l'allumage est plus élevée; j'ai, en effet, trouvé dans mes essais des valeurs extraordinairement basses pour la température d'inflammation sous pression de la plupart des combustibles. La température de combustion, par contre, est essentiellement variable; elle dépend de beaucoup de circonstances, et en particulier de la quantité d'air fournie au combustible; mais elle est toujours notablement plus élevée que la température d'inflammation.

Or, dans toutes les combustions employées précédemment à la production d'un travail moteur, *la température de combustion était produite après l'allumage par et pendant la combustion même.*

Dans ma brochure je posai, comme *condition fondamentale* pour tout cycle moteur rationnel, que : *la température de combustion ne doit pas se produire par et pendant la combustion, mais avant et indépendamment d'elle (par conséquent avant l'allumage) uniquement par une ignition mécanique d'air pur.* Cette condition, qui semble paradoxale, n'était que la conséquence des principes du cycle de Carnot, mais non encore appliqués dans la pratique. Il faut même ajouter que la réalisation du cycle de Carnot présenterait des difficultés presque insurmontables, à cause des énormes pressions qu'il exige.

C'est pourquoi je posai, comme *deuxième condition* d'une combustion rationnelle, *l'abandon du cycle parfait* en ne comprimant pas l'air, comme l'exigerait ce cycle, d'abord suivant une isothermique jusqu'à 2 à 4 atmosphères et ensuite suivant

une adiabatique jusqu'à une pression de 30 ou 40 fois plus élevée, mais, au contraire, suivant l'adiabatique seule, abandonnant le premier temps isothermique. On réalise ainsi la première des conditions énoncées : production de la température de combustion par simple compression, avec des pressions de deux à quatre fois moindres que le dans cycle parfait. Le cycle de Carnot exigerait, en effet, des pressions de 100 à 200 atmosphères là où le cycle modifié, proposé et réalisé par moi, n'en exige que 30, 40 ou 50, pour arriver par la compression à la même température de combustion. Cette modification du cycle parfait permet de remplacer le cycle irréalisable de Carnot par un cycle pratique de rendement maximum.

Comme *troisième condition* nécessaire à une combustion motrice rationnelle, je démontrai que, dans la masse d'air comprimée adiabatiquement à la température de combustion,

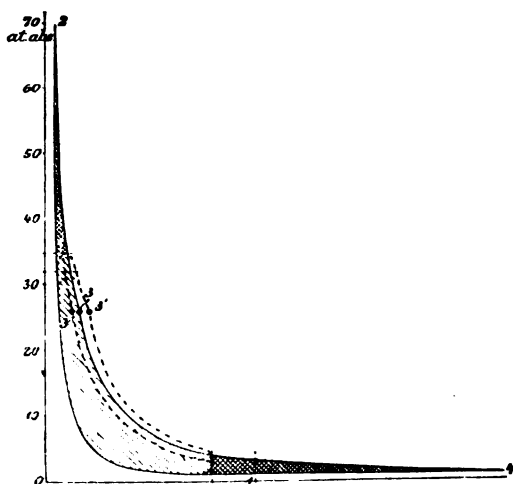


Fig. 199.

il faut introduire le combustible graduellement de façon à pouvoir transformer, à mesure qu'elle se développe, la chaleur produite par cette combustion en un travail de détente équivalent, c'est-à-dire à refroidir dynamiquement la masse gazeuse

et à réaliser une combustion plus ou moins isothermique. Inutile de dire que, pour ainsi faire, le combustible doit se présenter sous une forme appropriée, à l'état gazeux, liquide ou pulvérisé.

Cette condition exprime tout simplement qu'il ne doit se produire, par et pendant la combustion, qu'une élévation de température nulle ou relativement faible, ce qui semble paradoxal puisque, jusqu'ici, l'élévation de température avait été produite exclusivement par et pendant la combustion.

La *quatrième condition* imposée était également en contradiction avec les idées reçues, d'après lesquelles la combustion

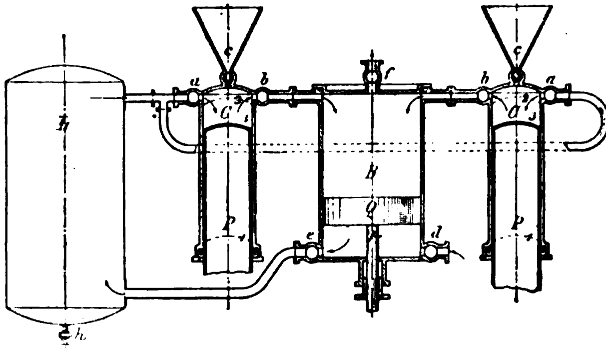


Fig. 200. — Moteur Diesel compound.

devrait se faire avec un minimum d'excès d'air, tandis que je demandais, au contraire, un très grand excès d'air, dont la valeur était d'ailleurs théoriquement définie pour chaque cas[1].

L'ensemble et la continuité des quatre conditions énoncées

[1] L'une ou l'autre de ces conditions se trouvaient *séparément* définies dans la littérature sur les moteurs à gaz, entre autres dans l'excellent ouvrage de M. Otto Kohler : *Theorie der Gasmotoren* (Leipzig, 1887), dans lequel l'auteur parle de la possibilité d'une combustion isothermique, de l'utilité de l'excès d'air, de l'impossibilité de réaliser le cycle de Carnot, mais sans arriver à décrire ou à proposer l'*ensemble* d'un procédé satisfaisant à la fois aux conditions théoriques et aux exigences de la pratique, et pouvant servir de base à un nouveau système de moteur.

ci-dessous constituent un cycle applicable aux machines à combustion, et dont le diagramme théorique est représenté par la figure 199. L'air pur aspiré dans le cylindre est d'abord comprimé suivant la courbe 1 à 2, suffisamment et assez vite pour s'élever à la température de combustion, puis le combustible est introduit en 2-3 graduellement, pendant la marche en avant du piston et de la détente qui en résulte, de façon à obtenir une combustion spontanée isothermique et sans augmentation de pression. Lorsque l'introduction du combustible a cessé, la masse gazeuse se détend suivant la courbe 3-4.

Inutile de dire, qu'en pratique, l'angle 2 du diagramme n'est pas aussi aigu qu'en théorie; il prend une forme arrondie, et les courbes ne sont pas plus absolument théoriques ; la période 2 à 3, en particulier, s'écarte plus ou moins de l'isothermique, mais cela ne change pas l'essence du procédé.

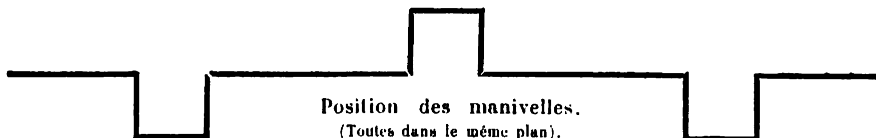
En particulier, on voit immédiatement qu'il est avantageux de supprimer les deux pointes allongées 2 et 4, dont l'aire est très petite, car leur suppression procure, en 2, une réduction considérable de la compression et, en 4, une réduction des dimensions du cylindre. On les supprimera donc à un endroit quelconque de leur longueur, et l'on obtiendra ainsi le diagramme réel indiqué en clair sur la figure 199, et tel que l'a fourni la machine d'essai.

Le diagramme (*fig.* 199) montre aussi comment on peut faire varier l'aire du diagramme ou régler la puissance de la machine. En faisant varier la durée d'admission du combustible ainsi que sa quantité, on reporte la courbe de combustion en 3′ ou 3″, en changeant en même temps la courbe de détente. On peut ainsi modifier la hauteur du diagramme et sa surface en faisant commencer l'introduction du combustible en différents points de la période de compression, comme l'indiquent les courbes pointillées.

La publication dont il a été question plus haut contient, après les déductions théoriques que je viens de rappeler rapidement, les projets d'une série de moteurs capables de réaliser les conditions posées pour une combustion motrice ration-

Fonctionnement du moteur Diesel compound.

			CYLINDRE DE COMBUSTION GAUCHE à simple effet Marche à 4 temps	CYLINDRE DE COMBUSTION A DOUBLE EFFET en bas : compression d'air en haut : détente	CYLINDRE DE COMBUSTION DROIT à simple effet Marche à 4 temps
Pendant deux tours ou 4 temps	Premier tour	Haut	Aspiration d'air comprimé du réservoir intermédiaire.	Échappement.	Combustion et commencement de la détente.
		Bas	—	Aspiration d'air atmosphérique.	—
		Haut	Compression finale de l'air.	Détente finale des gaz contenus dans le cylindre de combustion droit.	Communication avec le cylindre de détente et détente finale.
		Bas	—	Compression préalable d'air dans le réservoir intermédiaire.	—
	Deuxième tour	Haut	Combustion et commencement de la détente.	Échappement	Aspiration d'air comprimé du réservoir intermédiaire.
		Bas	—	Aspiration d'air atmosphérique.	—
		Haut	Communication avec le cylindre de détente et détente finale.	Détente finale des gaz contenus dans le cylind. de combust. gauche.	Compression finale de l'air.
		Bas	—	Compression d'air dans le réservoir intermédiaire.	—



Position des manivelles.
(Toutes dans le même plan).

nelle. La figure 200 représente un moteur rationnel ainsi construit. Les soupapes y sont représentées schématiquement ; le bâti, les bielles, le volant y sont supprimés. Ce moteur se compose de deux cylindres de combustion C, avec pistons plongeurs P, et reliés, d'une part, par les soupapes *b*, commandées mécaniquement, à un cylindre *r* intermédiaire et plus grand B, et, d'autre part, par des soupapes *a* desmodromiques, à un réservoir d'air L. Les manivelles des deux cylindres de combustion C sont parallèles et à 180° de celle du cylindre B.

Dans ce dispositif, le cycle se réalise comme suit :

Le piston Q, dans sa marche ascendante, aspire par la soupape *d* de l'air qu'il comprime, à son retour, à une pression de quelques atmosphères et refoule à travers la soupape *e* dans le réservoir L. La partie inférieure du cylindre B ne sert donc qu'à comprimer, au préalable, l'air comburant, et ce à une température peu élevée.

Le piston P aspire ensuite, en descendant, l'air déjà comprimé du réservoir L; puis, en remontant, achève la seconde période de compression à la pression voulue. Les positions extrêmes du piston en bas et en haut de sa course sont représentées en pointillé en 1 et 2.

Le piston P descend ensuite de nouveau jusqu'à la position 3, *pendant l'injection et la combustion graduelle* décrites plus haut. Le combustible, qui est supposé, pour le moment, être du charbon pulvérisé, est introduit dans le cylindre pendant la période d'admission au moyen de la rotation lente d'un robinet à encoche latérale.

A la position 3 du piston, l'injection du combustible cesse, et les gaz continuent à se détendre. Lorsque le piston est arrivé au bas de sa course, en 1, la soupape *d* s'ouvre; le piston Q est à ce moment en haut de sa course ; en continuant la marche, les mouvements changent de direction : P remonte, O descend, et les gaz de combustion continuent à se détendre du cylindre C en B, dont ils remplissent finalement le volume, après quoi la soupape *b* se ferme et *f* s'ouvre,

permettant ainsi aux gaz de s'échapper à l'extérieur lorsque le piston Q remonte.

Les cylindres C marchent à 4 temps, et l'on arrive, par leur conjugaison, à obtenir une course motrice à chaque tour de la machine, alternativement à droite et à gauche.

Si nous nous reportons maintenant au tableau ci-contre, nous voyons de suite combien une telle machine doit être supérieure à une machine à vapeur. Tout d'abord, grâce à la combustion dans le cylindre même, la chaudière est supprimée. En second lieu, le rendement maximum théorique du nouveau moteur atteint, suivant les déductions de ma brochure, 50 à 70 0/0, c'est-à-dire le double en moyenne de celui des meilleures machines à vapeur. Le rendement indiqué en puissance *e'* doit être également plus élevé, puisqu'on ne fait pas usage de vapeurs condensables, et que l'on évite en outre plusieurs autres sources de perte (par les conduites, etc.). Par contre, le rendement organique de la machine devait être, suivant les prévisions, considérablement diminué à cause du travail dépensé pour la compression. C'est sur ce dernier point que la critique fut la plus vive ; elle alla jusqu'à démontrer par le calcul que ce rendement serait mauvais au point que les avantages théoriques — reconnus d'ailleurs — en seraient anéantis et que le moteur fournirait des résultats moindres que les autres moteurs employés jusqu'alors.

D'autre part, les avantages théoriques étaient si considérables que, de tous côtés, on reconnut que leur réalisation méritait les plus grands efforts. Mes idées furent particulièrement soutenues par M. Zeuner, notre doyen en thermodynamique appliquée, et par MM. Linde, Schroter et Slaby. Il se trouva aussi de grands industriels disposés à sacrifier, au développement d'un problème scientifique leur temps, leurs forces et leurs moyens. Ce furent, en première ligne, M. Buz, directeur de la fabrique de machine d'Augsbourg, puis M. Frédéric Krupp à Essen[1], et c'est ainsi que se créa à Augsbourg, une

[1] Auxquels se joignirent plus tard MM. Sulzer frères, à Winterthur ; MM. Carels frères, à Gand, etc.

station d'essais pourvue de tous les moyens scientifiques et techniques nécessaires, où l'on fit études et essais suivant un programme déterminé.

Ce programme était le suivant :

Construction d'un moteur monocylindrique, c'est-à-dire n'ayant que le cylindre de combustion de la figure 200, pour y étudier le mode de combustion proprement dit, ainsi que les détails de construction ; on avait ainsi moins de difficultés à vaincre qu'en faisant de suite les trois cylindres de la figure 200. En outre, on obtenait ainsi une machine pouvant se présenter sur le marché industriel et convenant aux petites et moyennes puissances, grâce à sa simplicité. Le moteur compound complet, qui répondait mieux aux données théoriques et dont on était en droit d'attendre de meilleurs rendements thermiques, ne devait être mis à l'étude qu'après achèvement du moteur simple. De plus on décida que les essais auraient lieu d'abord avec des combustibles liquides, ensuite avec des combustibles gazeux, et enfin avec des combustibles solides pulvérisés. Constatons d'ailleurs, en passant, que les intéressés furent unanimement d'avis que la gazéification du charbon serait en principe, plus simple et meilleur marché que sa pulvérisation et son tamisage, et que l'emploi du charbon pulvérisé, si séduisant qu'il paraisse au premier abord, présenterait — comparativement à l'emploi des gaz pauvres — plus d'inconvénients que d'avantages.

C'est suivant ce programme que l'on construisit tout d'abord la machine représentée figure 201. Elle se compose d'un cylindre C, à simple effet, avec piston plongeur P, le tout pouvant supporter de très hautes pressions. Le piston P est relié comme d'habitude à l'arbre moteur *d*, par l'intermédiaire de la glissière *a*, de la bielle *b* et de la manivelle. Cet arbre actionne au moyen d'engrenages coniques l'arbre auxiliaire *g*, qui, lui-même, entraîne l'arbre de distribution W, sur lequel sont calées les cames B, qui actionnent, au moment convenable, la soupape à air V et la soupape à pétrole D. Cette dernière commande est visible sur la figure 201 ; celle de la soupape V est

analogue. Les soupapes retombent sur leurs sièges par l'action de ressorts à boudin.

Le cycle à 4 temps se réalise comme suit :

1° Descente du piston P, produite par la force vive du

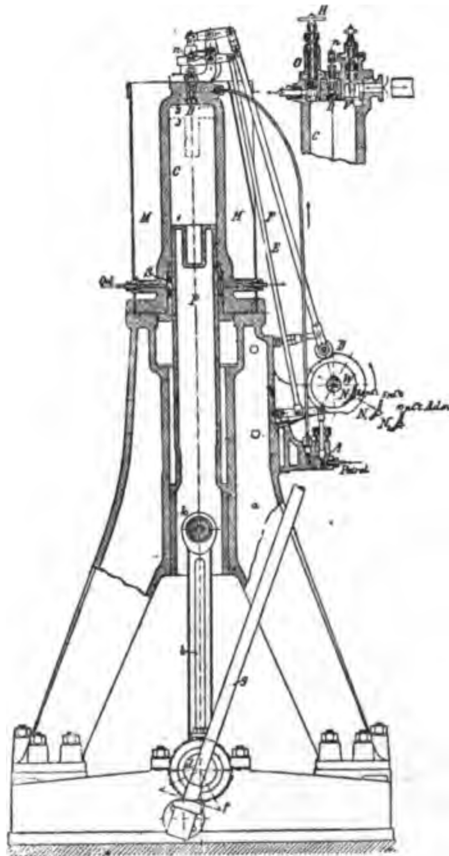


Fig. 201. — Moteur Diesel de 1895.

volant ; aspiration de l'air atmosphérique par la soupape V ; la position du piston au bas de sa course est représentée en 1.

2° Montée du piston P, également par la force vive du volant la soupape V étant fermée, et compression de l'air enfermé dans le cylindre à des pressions suffisantes pour produire la tem-

pérature à laquelle doit avoir lieu la combustion ultérieure. Cette pression est parfaitement déterminée par la température de combustion prescrite : elle est atteinte lorsque le piston P est en haut de sa course, en 2 ;

3° Deuxième descente du piston P ; course motrice. Introduction du combustible de la position 2 à la position 3 du piston, au moyen d'une petite pompe A, commandée par les cames N, N_1 ou N_2, dont la forme donne exactement le degré d'admission désiré et la combustion graduelle voulue. A la position 3 du piston, l'injection de combustible cesse, et la masse gazeuse se détend jusqu'au point mort inférieur.

4° Deuxième montée du piston par la force vive du volant acquise dans la course motrice. Expulsion des gaz par la soupape V, ou par une soupape d'échappement spéciale, dans le tuyau d'échappement qui les conduit au dehors.

La mise en marche du moteur a lieu en introduisant par la soupape O de l'air comprimé contenu dans un réservoir spécial, qui est ensuite rechargé par le moteur lui-même pendant son fonctionnement.

Il est à remarquer que cette machine a fonctionné sans enveloppe refroidissante, démontrant par là la possibilité, prévue par la théorie, de marcher sans eau réfrigérante. Pour des raisons pratiques, la circulation d'eau a été reprise plus tard ; elle permet notamment d'obtenir une puissance plus grande dans un cylindre de dimensions données. De l'expérience acquise pendant les essais, je conclus qu'il ne faut pas considérer l'enveloppe réfrigérante des moteurs à combustion comme un obstacle à l'obtention de rendements élevés. Dans tous les cycles moteurs, la théorie exige l'enlèvement d'une certaine quantité de chaleur ; et il n'y a qu'un moyen pour arriver à diminuer la perte qui en résulte : *c'est de choisir d'avance un procédé de combustion qui réduise au minimum le calorique à soustraire.*

Ce nouveau moteur exigeant des compressions très élevées de hautes températures et de grandes vitesses, il en résulta pour l'exécution de très grosses difficultés, provenant prin-

cipalement de l'absence complète d'expériences du même genre et de l'impossibilité de se baser sur des travaux antérieurs; il fallut donc approprier chaque organe à son but spécial par de lentes études et des transformations continuelles.

Je n'entrerai pas dans le détail des innombrables modèles de

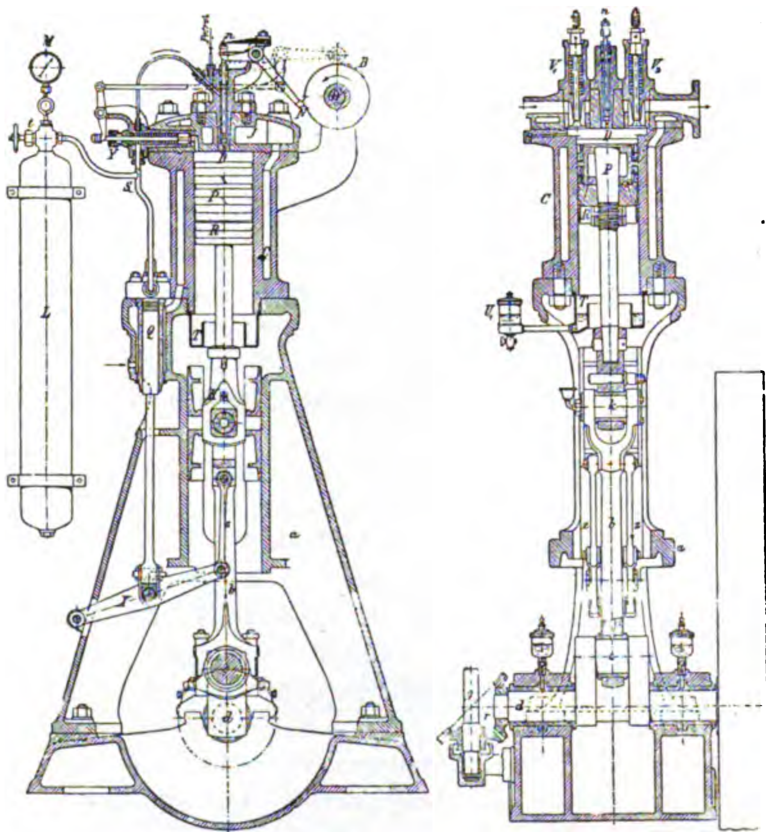


Fig. 202 et 203. — Machine Diesel de 20 chevaux (1897), à cylindre de 250 × 400. Coupes verticales orthogonales.

soupapes, de pistons et de distributeurs qu'il a fallu essayer, ni des matériaux à employer, etc. C'est l'injection du combustible qui offrit des difficultés toutes particulières, car elle devait avoir lieu en quantités minimes, mais néanmoins suivant un

régime exact et précis et avec des organes robustes et durables. L'étude et l'essai de tous ces détails dura deux ans, après lesquels seulement on put transformer le premier moteur d'essai, de façon à profiter de toute l'expérience acquise et à le rendre capable de fonctionner régulièrement. Ce second moteur, de 12 chevaux, fut encore nécessairement très imparfait, car il était formé en grande partie d'anciennes pièces et ne constituait pas un tout homogène. Néanmoins, les résultats obtenus avec lui, fin 1895, placèrent la nouvelle machine immédiatement en tête des moteurs thermiques actuels. Ces résultats ayant été très dépassés par les expériences plus récentes, il est inutile de les citer. Je dirai seulement que ce moteur actionna pendant bien des mois la transmission de l'usine, et qu'il fonctionna aussi bien avec le pétrole qu'avec le gaz d'éclairage.

C'est sur la base des données ainsi acquises que fut construit, cette fois d'un seul jet, un nouveau moteur de 20 chevaux, qui fut essayé au commencement de 1897, avec du pétrole comme combustible, et auquel se rapportent les renseignements qui suivent.

Cette machine est représentée figures 202 et 203. On y remarque que le cylindre est pourvu d'une chemise à circulation d'eau, pour les raisons énoncées plus haut ; que le piston plongeur à joint hydraulique est remplacé par un piston à segments ; que l'arbre de distribution est reporté au sommet de la machine, que la soupape d'aspiration et la soupape d'échappement sont distinctes, etc. En outre, le moteur est pourvu d'une petite pompe à air Q, actionnée par la bielle Z et le levier X, et destinée à maintenir la charge d'air comprimé du réservoir L à une pression supérieure à la plus haute pression de compression dans le cylindre, cette pression se transmettant à la chambre d'injection D par la conduite S. C'est aussi dans cette chambre qu'arrive le pétrole, injecté par une petite pompe, non indiquée snr la figure, dans les intervalles laissés entre les périodes de combustion par le fonctionnement à 4 temps. Lorsque l'aiguille d'injection se soulève, le pétrole pénètre, par suite de son excès de pression, dans la chambre de compression, à travers l'ori-

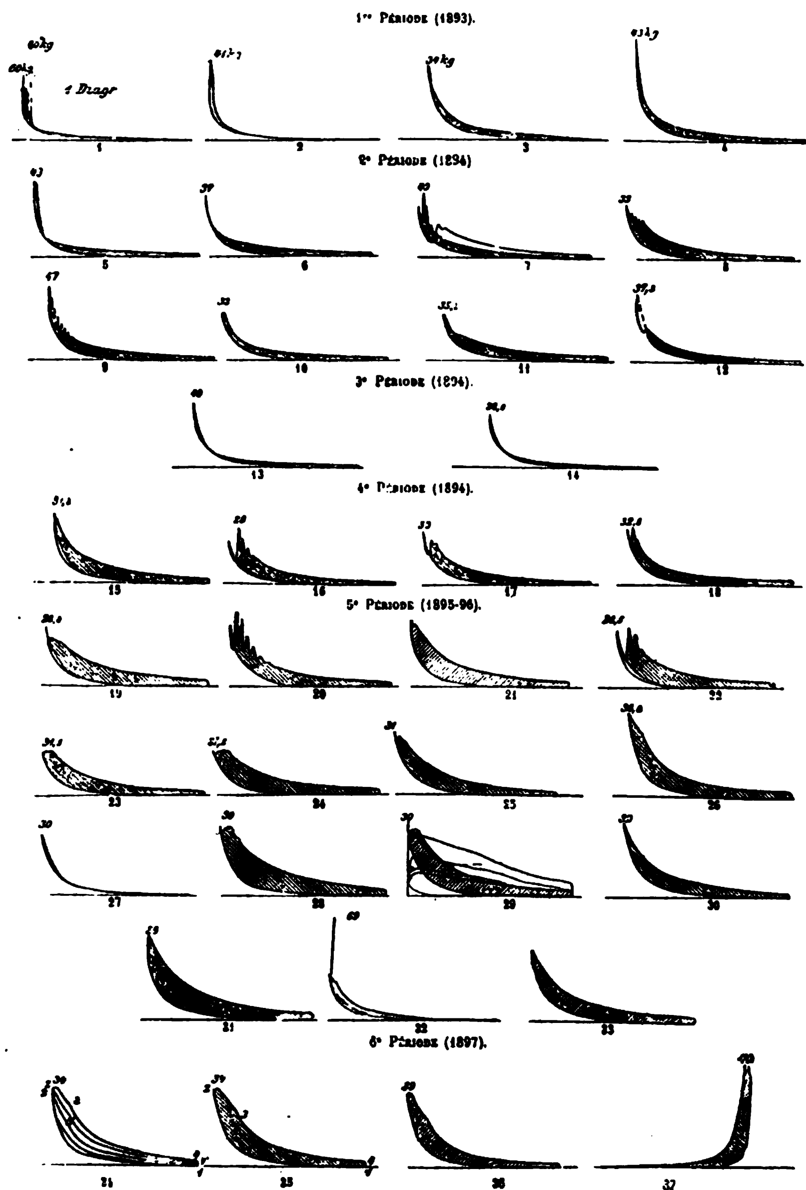


Fig. 204. — Évolution du moteur Diesel.

fice de l'ajutage, en produisant ainsi la période de combustion suivant le diagramme figure 199. La forme et la longueur de la courbe de combustion peuvent être modifiées, suivant la puissance que doit fournir la machine, en modifiant soit la durée de la période d'admission et de combustion, soit la pression de l'air du réservoir L, ou en faisant commencer l'injection en différents points de la courbe de compression, comme il a déjà été indiqué.

N°s 2, 3, 4. — Diminution de l'explosion, mais étroitesse des diagrammes.

Pendant cette première période, on ne parvint pas encore à réaliser la marche à vide du moteur, mais elle fournit la preuve de la possibilité de produire des combustions suivant le procédé proposé.

Transformation complète du moteur.

Deuxième Période (1894). — N°s 5 à 12. — A travers des incidents de toutes sortes, il s'établit peu à peu une période de combustion distincte, d'abord très turbulente (7 à 9), puis plus régulière (10 à 15), mais toujours sans largeur des diagrammes. Cependant on parvint à marcher à vide et on démontra qu'il était possible de produire un travail, si petit qu'il fût. Certains diagrammes (n° 8) présentaient d'ailleurs des formes exactes en principe et un grand excès de travail disponible; mais ils se produisaient isolément, et on ne put arriver à définir les conditions nécessaires à leur reproduction.

Troisième Période (1894). — Dans cette période, on essaya de commander l'injection de combustible par des dispositifs cinématiques ayant pour but de doser la combustibilité par injectée dans le rapport théorique avec la course du piston. Cette idée, apparemment la plus juste, donna des résultats absolument négatifs ; durant dix mois, malgré de nombreuses transformations, nous ne relevâmes que des diagrammes de la forme 13 et 14, c'est-à-dire sans surface aucune. Cette période fut la plus difficile de toutes, et il fallut toute la confiance des intéressés dans la vérité scientifique qui nous guidait pour ne pas abandonner l'affaire.

Quatrième Période (1894). — Abandonnant complètement la voie suivie dans la troisième période, on s'attacha à reproduire le diagramme 8 de la seconde. Puisqu'il pouvait se produire une fois, on devait pouvoir le répéter. On réussit enfin, comme le montrent les n°s 15 à 18, dont la combustion, il est vrai, restait encore très irrégulière et entrecoupée de ratés (15 et 16), mais qui conduisirent à une production régulière de travail utile.

Cinquième Période (1895-1896). — Les diagrammes 19 à 22 présentent encore une augmentation de largeur, mais toujours une combustion turbulente. Les n°s 23, 24, 28 représentent enfin de beaux diagrammes très réguliers, avec lesquels le moteur fonctionna pendant des mois de marche continue, et dont les résultats thermiques surpassaient sensiblement ceux de tous les moteurs analogues.

Le diagramme 27 est relevé après la suppression du combustible, pendant les derniers tours avant l'arrêt du moteur ; on voit que la courbe de compression et la courbe de détente se recouvrent presque identiquement.

Le n° 29 est un diagramme de mise en route, montrant la mise en train par l'air comprimé et ensuite une série de diagrammes de marche normale à pleine force après le saut des cames.

Les n°s 30 à 33 indiquent divers essais pour modifier l'injection du combustible, mais qui ont donné des résultats inférieurs.

Sixième Période (1897). — On voit ici les diagrammes typiques du moteur à pétrole complètement développé, tel qu'il est construit aujourd'hui ; ces diagrammes ont été relevés par M. le professeur Schroter.

Le n° 35, relevé en charge normale, présente de 1 à 2 la courbe de combustion, d'abord arrondie, puis à peu près isothermique et de 3 à 4 la courbe de détente. Le n° 34 représente le réglage automatique de la machine lorsque la pleine charge est subitement enlevée presque tout entière. 1-2-3-4 est le diagramme normal semblable à 35 ; 1-2′-3′-4′ montre la dimi-

nution du diagramme produite par la diminution de la période d'admission du combustible, de même que, dans une machine à vapeur, on diminue le travail produit en faisant varier la longueur de l'admission. Ce diagramme montre l'une des propriétés les plus importantes du moteur : sa ressemblance avec la machine à vapeur au point de vue de la forme de ses diagrammes et de son réglage.

Il ne faut pas ici se laisser induire en erreur par l'échelle des diagrammes, qui semblent encore très étroits. Mais leur signification réelle ressort de la figure 205, où sont représentés à la même échelle, et, pour le cylindre, les diagrammes d'une machine à vapeur, d'un moteur à explosion et du moteur rationnel ; il est facile de voir que l'aire du diagramme du nouveau moteur est de beaucoup la plus grande.

Le diagramme 36 est relevé à demi-charge.

Le diagramme 37 est celui de la pompe à air.

C'est dans cette période, et avec ces diagrammes, qu'ont été obtenus les résultats faisant l'objet des communications qui vont suivre.

Les expériences les plus complètes furent faites sur cette machine soit par des professeurs, soit par des délégués d'établissements industriels allemands et français.

Tous ces essais furent exécutés avec la plus grande exactitude, les appareils et instruments employés éprouvés plusieurs fois de la façon la plus consciencieuse. Leur durée fut tantôt d'un, le plus souvent de plusieurs jours, et ils portèrent sur toutes les allures du moteur, sur le réglage, dans les circonstances les plus défavorables, etc.

Les résultats sont tellement concordants qu'on peut les considérer comme définitifs ; ils placent la nouvelle machine au premier rang des moteurs thermiques, au point de vue de l'utilisation de la chaleur. M. le professeur Schroter aura l'obligeance de vous communiquer le résultat de ses essais qui sont, comme toujours chez lui, un modèle d'exactitude. Je serai par là déchargé de la tâche de juger moi-même la nouvelle machine ; il ne me reste donc qu'à ajouter quelques remarques générales.

Le rendement théorique oscille entre 50 et 90 p. 100, le premier chiffre s'appliquant aux moteurs monocylindriques représentés figures 202 et 203, qui ont un champ d'application très

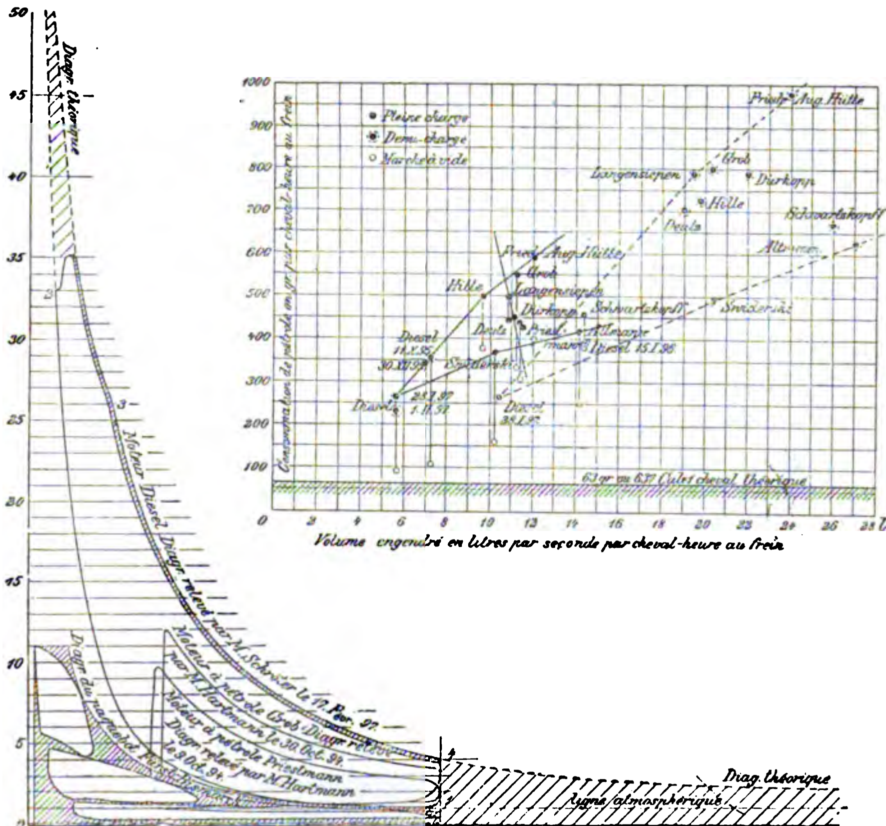


Fig. 205 et 206.

étendu, grâce à leur simplicité; le second chiffre s'appliquant aux moteurs plus parfaits, en particulier aux moteurs compound; cette dernière disposition est celle que je crois devoir appliquer aux machines qui ont pour principal objectif, l'économie du calorique. La valeur de ce rendement atteint donc le double de celle des machines à vapeur, et c'est ce qui explique la supériorité du nouveau moteur comparativement aux

machines à vapeur et aux moteurs à explosion, dont le rendement varie, suivant Clerk, entre 33 et 43 0/0.

Les essais ayant démontré que la proportion de chaleur transformée en travail indiqué est de 34 à 40 0/0, il en résulte déjà, pour ce simple moteur monocylindrique, un rendement indiqué de 70 à 80 0/0, c'est-à-dire bien plus élevé que dans les machines à vapeur et sensiblement meilleur que dans les moteurs à explosion.

Le rendement organique varie, dans la nouvelle machine, entre 71 et 75 0/0; ce rendement organique est donc plus faible que dans les machines à vapeur et dans les moteurs à explosion. Mais il n'est pas douteux, pour bien des raisons, que le rendement organique atteindra peu à peu celui des autres machines. Quoi qu'il en soit, en s'appuyant seulement sur les faits réellement acquis, on obtient comme rendement total effectif au frein : 0,266; c'est-à-dire que 26, 6 0/0 *de la chaleur totale sont transformés en travail effectif au frein.*

Comme le combustible employé dans les essais était du pétrole ordinaire lampant, on ne peut, dès aujourd'hui, comparer le nouveau moteur qu'avec des moteurs de même espèce et d'ancien système.

Cette comparaison est faite en figure 206, où sont portés les résultats des essais les plus dignes de confiance publiés jusqu'ici en Allemagne sur les moteurs à pétrole par M. le professeur W. Hartmann. Les abscisses représentent les volumes des cylindrées en litres par seconde ; les ordonnées, la consommation de pétrole (en grammes par heure, le tout par cheval effectif au frein ; les lignes pleines se rapportent à la pleine charge, les lignes pointillées à la demi-charge. A côté de chaque point se trouve le nom du système qu'il représente.

Cette figure démontre en outre deux propriétés de la nouvelle machine. La première est la très faible augmentation de la dépense lorsque la charge diminue. On peut presque dire que la consommation par cheval-heure au frein est constante entre les limites ordinaires de fonctionnement, tandis que, dans les autres moteurs à pétrole, cette consommation aug-

mente notablement lorsque la charge de la machine diminue. Cette propriété s'explique par l'augmentation du rendement thermique pour les charges moins fortes, ce qui compense en grande partie la diminution du rendement organique. Aucune autre machine ne possède cette particularité, pas même la machine à vapeur; elle est d'une grande importance; car, dans la pratique, une machine ne travaille jamais à charge maxima et ne donne jamais les résultats obtenus dans les essais faits au maximum de puissance, tandis que le nouveau moteur y arrive effectivement.

La seconde propriété qui ressort de la figure 206, et qui est aussi d'une grande valeur, est l'exiguité des dimensions de cette machine, comparées à celles des moteurs à explosion construits jusqu'ici; on voit que, pour la pleine charge, les dimensions de ces derniers sont de 50, 60 et même 100 0/0 supérieures à celles du nouveau moteur, à nombre de tours égal bien entendu, comme l'indique d'ailleurs le graphique. L'explication de ce fait ressort de la figure 205, qui compare les diagrammes de la machine à vapeur, du moteur à explosion et du moteur rationnel pour les mêmes dimensions de cylindres. Comme le diagramme du nouveau moteur a une aire bien plus considérable que les moteurs à explosion et que les machines à vapeur, la pression moyenne est d'autant plus élevée et les dimensions de la machine sont d'autant plus petites pour une même puissance. La conclusion immédiate en est que les tiges, bielles, manivelles, etc., du moteur rationnel ne sont pas plus grandes mais au contraire plus faibles que celles des moteurs à explosion de même force. Ces faits contredisent donc le plus grave argument émis autrefois contre le nouveau système, à savoir qu'en raison des hautes pressions employées, les dimensions des organes seraient trop grandes pour pouvoir être exécutées.

Une troisième propriété très essentielle du moteur est visible sur le diagramme de réglage n° 34, figure 204; c'est que la puissance fournie par la machine se règle exactement, comme dans les machines à vapeur, par la variation de l'ad-

mission, c'est-à-dire de l'injection du combustible. Suivant la puissance à fournir, le diagramme s'élargit ou s'amincit (pour l'échelle réelle voir la figure 205), la machine obéit au régulateur avec une exactitude surprenante, comme l'ont prouvé les essais faits à charge variable. Il n'y a jamais de ratés. Ce procédé de réglage met la nouvelle machine à la hauteur des machines à vapeur au point de vue de l'élasticité du fonctionnement, de la douceur et de la régularité de marche, et supprime les plus gros inconvénients du moteur à explosion, c'est-à-dire le fonctionnement par chocs et à-coup, et le réglage lourd et difficile par ratés, obstacles principaux qui ont empêché jusqu'ici ce genre de moteur de pénétrer sérieusement dans le domaine de la machine à vapeur.

Une quatrième propriété très importante du moteur est celle d'être toujours prêt à marcher. Comme il a été expliqué ci-dessus, le moteur, tel qu'il a été arrêté, est toujours prêt à repartir sans préparatifs d'aucune sorte ni chauffage quelconque, quelle que soit la durée de ces arrêts.

La cinquième propriété, peut-être la plus essentielle de toutes, est l'absence complète de tout encrassement intérieur, indépendamment de la durée du fonctionnement, propriété provenant de la perfection de la combustion ; cette perfection ayant encore pour résultat de rendre parfaitement invisibles et presque inodores les gaz d'échappement à presque toutes les allures. Ces gaz ne sont légèrement visibles que lorsque la machine est très chargée.

D'autres avantages du nouveau moteur moins essentiels, mais pourtant encore d'un grand poids, sont l'absence de tout système d'allumage, soit électrique, soit par flamme ou par tube incandescent; l'absence de lampes, d'appareils vaporisateurs et pulvérisateurs, d'appareils de mélange ; d'où simplicité extrême de la construction.

A ces particularités, qui rendent le moteur comparable à une machine à vapeur (mais sans la chaudière et ses accessoires) vient s'ajouter la faible consommation de combustible, qui, suivant les résultats concordants de tous les essais, est au-

dessous de 250 grammes de pétrole lampant par cheval au frein et par heure, et cela à charge normale, dans les conditions ordinaires de fonctionnement, et non pas à une charge maxima exceptionnelle.

Le moteur peut être considéré aujourd'hui comme complètement réalisé en tant que moteur à pétrole, mais son champ d'application est bien plus vaste. On a déjà constaté que la machine a fonctionné tout aussi bien au gaz d'éclairage qu'aux combustibles liquides. Les essais de puissance et de consommation au gaz ne sont pas encore terminés. Mais la grande importance de cette machine n'apparaîtra que lorsqu'elle sera en état d'employer de la houille ordinaire et lorsqu'elle sera exécutée en unités de 100 chevaux ou davantage. La fabrique de machines d'Augsbourg se prépare à faire des essais dans ces deux voies, et a mis en montage un moteur compound d'environ 150 chevaux; un générateur à gaz pauvres, système Lencauchez, est également monté à cet effet. Les essais eux-mêmes, et l'étude des machines et des appareils pour ce genre de marche exigent naturellement beaucoup de temps; cependant, l'expérience acquise depuis tant d'années permet d'espérer une solution relativement rapide de ces questions.

Les essais faits sur les moteurs à pétrole par MM. les professeurs Schroter, Gutermuth, Sauvage et d'autres ont donné, comme rendement thermique indiqué, 34 à 35 0/0 à charge normale et 38 à 40 0/0 à demi-charge: ces chiffres sont d'environ 50 0/0 plus élevés que les meilleurs résultats obtenus jusqu'ici pour le rendement indiqué des moteurs à gaz qui, d'après Dugald Clerk[1], atteignent, dans certains cas isolés, 27 0/0, mais qui restent en général bien au-dessous de ce chiffre, surtout si l'on considère le fonctionnement normal à charge variable, et non, comme on a l'habitude de le faire dans ce genre de comparaisons, la marche à charge maxima, qui ne conviendrait pas à un fonctionnement régulier.

L'élévation de ce rendement thermique indiqué démontre

[1] Dugald Clerk, *The Gas and Oil Engine*, London, 1896.

la supériorité du nouveau procédé de combustion, surtout si l'on considère que nous comparons ici un nouveau procédé, non encore développé dans ses conséquences, à un système arrivé, d'après l'avis des hommes les plus compétents, au plus haut degré de son perfectionnement.

Il est vrai d'ajouter qu'avec l'emploi d'un générateur à gaz pauvres nous réintroduisons une source de perte d'énergie dans la transformation du calorique. Le gaz produit par les générateurs ne renferme pas la totalité du calorique contenu dans le charbon; il n'en rend que 80 0/0; le générateur a donc un rendement égal à celui des meilleures chaudières à vapeur, mais il offre une plus grande simplicité dans le fonctionnement. Remarquons qu'il existe des raisons théoriques et pratiques pour admettre que les gazogènes arriveront à utiliser 90 et presque 100 0/0 de la chaleur du combustible. C'est de ce côté que doivent se diriger les efforts des ingénieurs, qui trouveront là un champ d'études étendu et plein d'avenir. Il n'est pas douteux que la réunion d'un gazogène de ce genre à un moteur thermique rationnel, fonctionnant d'une façon analogue à une machine à vapeur, donnera à la question du remplacement de la machine à vapeur des allures plus rapides qu'on ne pouvait l'espérer jusqu'ici.

Dans le moteur de 35 chevaux (*fig.* 208), la course d'aspiration

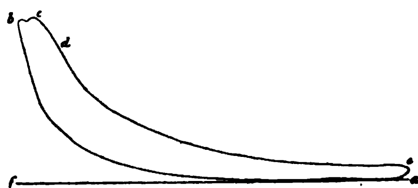


FIG. 207.

commence aussitôt que le piston a passé le point mort; à cet instant, on ouvre la soupape i par le levier i_1, et l'air pur est aspiré dans le moteur; la soupape se ferme au point mort inférieur et, par suite de la compression, l'air se trouve porté à la

pression de 35 atmosphères et à une température de 700 à 800°. Pendant ce temps, la pompe à pétrole d, actionnée par les

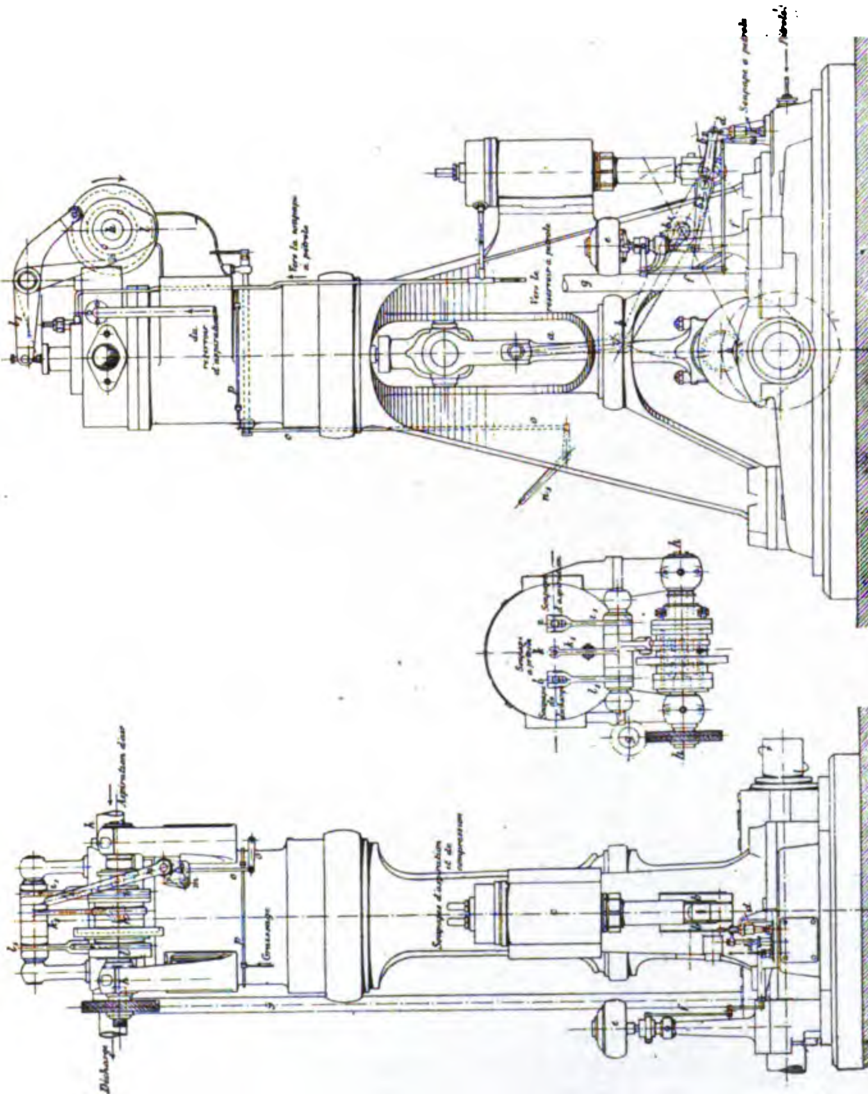


FIG. 208, 209 et 210.

leviers b_1, b_2, b_3, foule une certaine quantité de pétrole dans l'espace annulaire de la soupape à pétrole, par où vient éga-

lement une certaine quantité d'air du réservoir. Un instant avant l'arrivée du piston au point mort, le levier k_1 ouvre la soupape à pétrole; grâce à sa pression supérieure de 5 à 7 atmosphères, le combustible est introduit avec une grande vitesse dans le cylindre où il se vaporise et s'allume, grâce à la haute température de la compression. Après une certaine course du piston, le régulateur *e* ferme l'entrée du combustible; chaque moteur doit être muni d'une pompe à main. Pour mettre en route, la manivelle doit être amenée au moyen du volant, dans la position où le piston entre dans la période d'aspiration. Au moyen du levier à main *n*, le jeu des cames est déplacé sous la came *h* et maintenu au moyen d'un cliquet de retenue, *m*. Dans cette position, les soupapes d'entrée et de sortie ne sont plus sous l'influence directe de leurs cames; un deuxième jeu de cames permet alors de faire fonctionner le moteur comme moteur à air comprimé. Quand le moteur a fait quelques tours, il suffit de débrayer le cliquet *m*, et le moteur marche comme moteur à combustion. Les dispositifs du moteur de 20 chevaux peuvent se voir figures 202 et 203. La pompe à air *b* est à son point supérieur, et le petit bras du levier b_1 a fait fonctionner la pompe à pétrole. Les jeux de cames *i*, *k*, *l*, fonctionnent comme ci-dessus; le ressort *m* ramène le tout en place. Dans les nouveaux modèles, le régulateur *e* n'est pas fixé sur le socle : il est attaqué par l'arbre de distribution *g*. La pompe à pétrole est également relevée et commandée par l'arbre à cames, *h*. Le graissage a été l'objet de grands soins; en première ligne, le graissage du piston. En-dessous de la partie de travail des gaz dans le cylindre, on a ménagé une gorge annulaire par où l'huile est foulée au contact des cercles au moyen d'une pompe. La pompe est munie du dispositif Michalk; elle est actionnée par le levier de la pompe à air. L'arbre est remplacé par des plateaux équilibrés, donnant une stabilité plus grande, en même temps que plus de légèreté, ce qui permet de marcher à des vitesses plus grandes.

Diagrammes. — A cause de la réduction des diagrammes, il

est facile de suivre les phases successives. M. Güldner a rendu les diagrammes plus clairs par un agrandissement photographique. D'après ce diagramme, la courbe de compression semble suivre la loi : $v, p^{1,2}$ = constante, jusque vers la moitié de la course du piston, et se confond presque avec

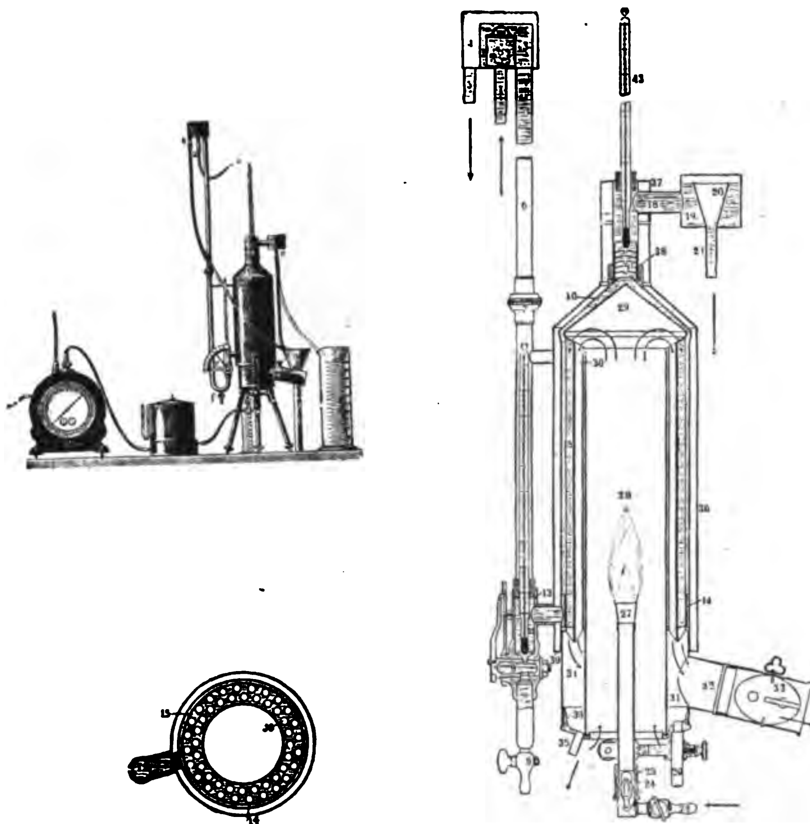


Fig. 211 à 213. — Calorimètre Junker.

une adiabatique. Sur la figure 207, agrandissement 5/1, on peut suivre la phase de travail. Au moment de la compression maxima, au point mort supérieur, la soupape d'injection est complètement ouverte, et l'air comprimé peut entrer dans le cylindre; pendant son mélange avec l'air du cylindre,

cet air s'échauffe et prend un volume plus considérable, de telle sorte que la pression reste constante, d'où la partie *bc* du diagramme. Au point *c*, le mélange du combustible étant effectué, il y a allumage de la masse et combustion jusqu'au point *d*, suivant une courbe qui doit être une isothermale. Au point *d*, l'introduction du combustible est interrompue et marche à vide jusqu'à la pleine charge. En réglant convenablement les introductions, on a pu réduire la consommation de pétrole à 208 grammes par cheval-heure, avec un diagramme dont la pression moyenne était de 10 atmosphères. »

Le calorimètre employé par M. Meyer est celui de M. Junker, très pratique, encore peu connu en France, et dont nous croyons utile de donner une description succincte.

La flamme 28 du gaz à l essai alimentée (*fig.* 211 à 213) par le Bunsen 22, 23, 24 (*fig.* 213) brûle dans un récipient en cuivre fermé en 29, et les gaz de cette flamme traversent de bas en haut, vers leur évacuation 32, réglable en 33, un faisceau de tubes 15, entouré d'une circulation d'eau marchant en sens inverse par 6, 14, 16, 18, 21, maintenue en charge constante par le trop-plein 1, 2, 3, 4, 5, *ab* (*fig.* 213), réglable en 8 par le robinet *q* à index *e* (*fig.* 211) et protégée du rayonnement par une enveloppe d'air : des thermomètres 13 et 43 donnent la température de cette eau à l'entrée, puis à la sortie, après mélange des filets par les chicanes 38.

Pour se servir de l'appareil, il suffit de noter le débit du compteur à gaz annexé à l'appareil, le débit correspondant de l'eau chaude dans l'éprouvette graduée à droite de la figure 211 à l'élévation de la température de cette eau. On recueille, d'autre part, en 34, 35 *d'* (*fig.* 211 et 213), la condensation de la vapeur d'eau et du gaz, dont il faut retrancher la chaleur de vaporisation 606,5..., de celle du gaz mesurée comme ci-dessus pour avoir la puissance calorifique effective du gaz, inférieure souvent de 10 0/0 de sa valeur totale.

CHAPITRE X

APPAREILS DE CHANGEMENT DE MARCHE ET HÉLICES RÉVERSIBLES

Nous avons vu que, pour les sous-marins autonomes, il faut avoir recours à une propulsion double, c'est-à-dire avoir deux moteurs distincts, l'un qui pourra être un moteur à pétrole, par exemple pendant la marche à l'air libre, l'autre électrique pendant la navigation sous-marine.

Or, dans les sous-marins où l'on ne dispose que d'un espace restreint, les moteurs doivent donner le maximum de puissance sous le volume le plus faible, ce qui conduit à les faire tourner très vite ; on arrive d'ailleurs de ce fait à un autre résultat qui n'est pas négligeable : le prix moins élevé des moteurs. Il est évident que l'on ne peut pousser un moteur à pétrole à la vitesse d'un moteur électrique. Le problème revient donc à faire mouvoir le bateau à une vitesse aussi grande que possible au moyen de deux moteurs de même force, mais de vitesse différentes.

Il est évident que, dans ces conditions, il devient indispensable de faire varier le facteur de transmission, et l'on ne peut arriver à ce résultat qu'en employant un changement de vitesse.

Une autre solution très ingénieuse consiste à ne pas modifier le facteur de transmission, c'est-à-dire à faire tourner l'hélice à des vitesses différentes, suivant que l'on emploie l'un ou l'autre moteur, en modifiant, suivant les besoins, le pas de cette hélice.

Nous allons donner la description de quelques appareils permettant de réaliser avantageusement ces conditions :

Le changement de marche de la Maison Herlicq consiste en trois engrenages d'angle (*fig*. 215), ou en trois cônes lisses **A,B,C,** montés sur deux arbres perpendiculaires l'un à l'autre.

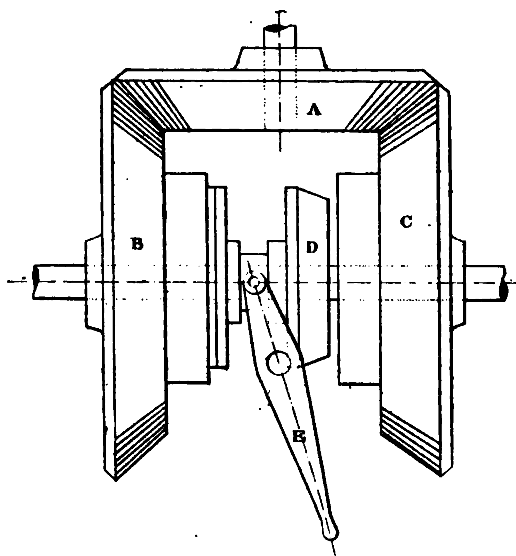


Fig. 214. — Changement de marche employé par la maison Herlicq.

L'engrenage conique A (*fig*. 214) est calé sur l'arbre du moteur

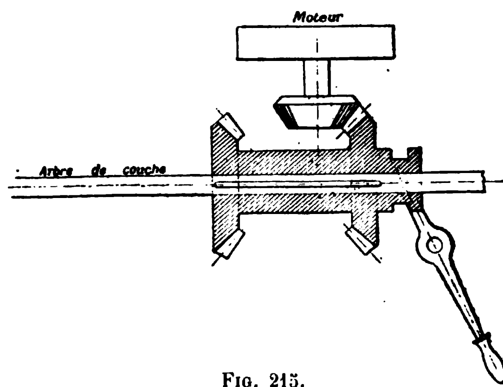


Fig. 215.

et fait continuellement tourner les engrenages B et C, qui sont fous sur l'arbre de couche : le manchon à embrayage conique,

D est calé sur l'arbre. La roue B tourne donc en sens inverse de la roue C. Pour obtenir le renversement de marche, il suffira donc de porter l'embrayage sur l'un ou l'autre des engrenages, au moyen du levier E. L'arrêt se produira en maintenant le manchon au milieu.

On peut agir aussi directement sur les engrenages (*fig.* 215) ; dans ce cas, les deux roues, venues de fonte ensemble, sont mobiles et calées sur l'arbre de telle sorte qu'en provoquant par un levier l'embrayage de l'une ou de l'autre, on obtienne le renversement de marche.

Cette dernière disposition est brutale ; elle a en plus l'inconvénient de placer le moteur perpendiculairement à l'arbre de couche.

Changement de marche Ewing

L'arbre creux A (*fig.* 216) porte deux plateaux : l'un calé, B, l'autre fou, B, entourés, par le moyeu C′, de la poulie G′ et rai-

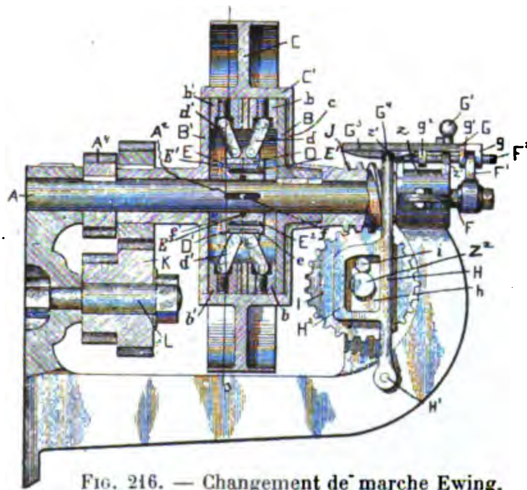


Fig. 216. — Changement de marche Ewing.

nuré sur lui, un manchon E, avec bagues D et D′ à genoux, *dd* et *d′d′*. A l'extrémité droite de A se trouve un bras F′ fou sur l'axe F, relié par sa goupille *f* au manchon E ; le bras F

est relié par la charnière $gg'F_2$ à la plaque G, à contrepoids G',

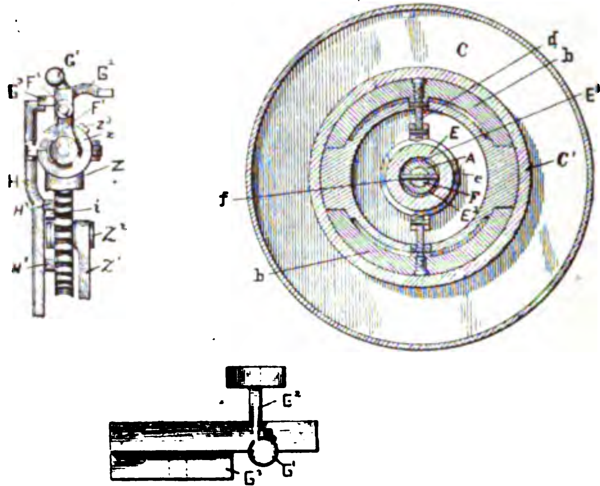


Fig. 217, 218 et 219. — Changement de marche Ewing.

qui l'appuie sur la tige H, et à taquet G_2. Le manchon J de

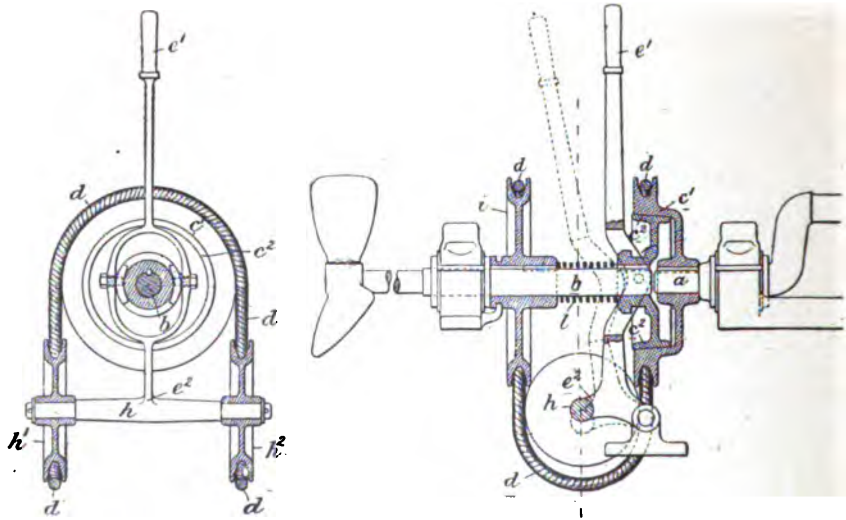


Fig. 220 et 221. — Changement de marche Tangye Robson.

la poulie E*i* fait, par IZ_2, osciller autour de H' le levier H, qui

entraîne G dans son encoche G_2, et, par conséquent, F′F et E,

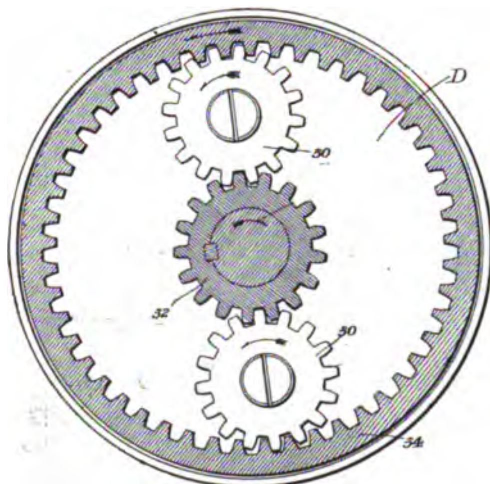


Fig. 222. — Changement de marche Norris.

de manière à embrayer alternativement avec EB ou B′, par *db*

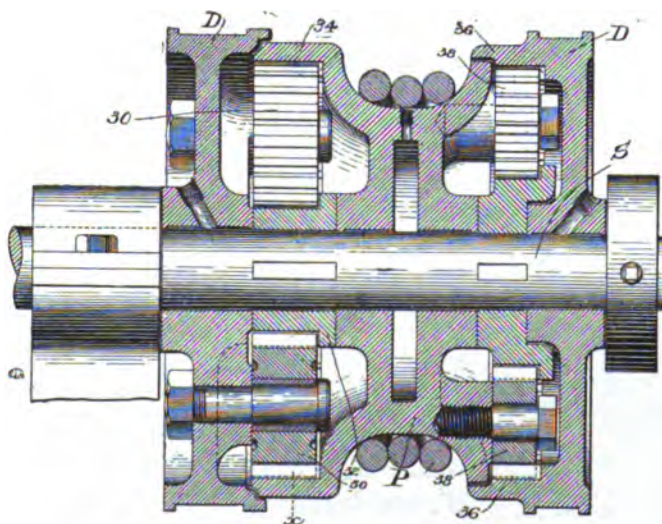


Fig. 223. — Changement de marche Norris.

ou *d′b″*, et à entraîner ainsi A directement par EB ou, en

sens contraire, par $B'A_2$, le pignon PK. Quand on veut débrayer à la fois B et B′, on retire G de façon que son bras G_2 soit retenu par le taquet r_3.

Tangye Robson. — Quand le levier e' (*fig.* 221) occupe la

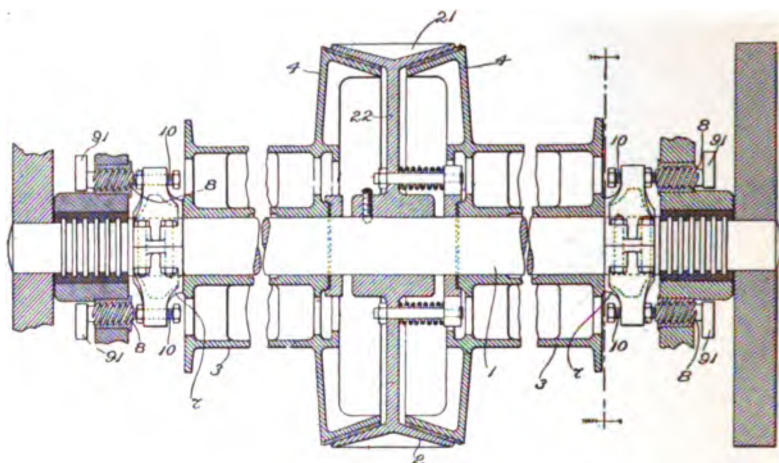


Fig. 224. — Embrayage Norris.

position indiquée en traits pleins, l'arbre a du moteur commande b : un arbre d'hélice, par exemple, par $c'c_2$; quand e' occupe la position pointillée, il débraye c' de c_2 et appuie, par c_2l_2, les galets h', h_2 sur la corde d, de sorte que a commande b par cdi, en sens contraire de précédemment.

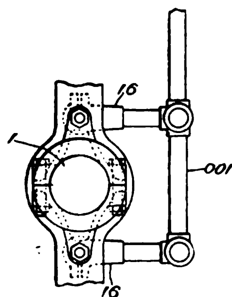


Fig. 225.
Embrayage Norris.

Changement de marche Norris. — Quand (*fig.* 224) on serre le frein sur D, l'arbre moteur S fait tourner P dans un sens par le train 32, 30, 30, 34 dont le pignon 32 est calé sur S et en prise avec ceux 30, 30, pivotés sur D et engrenés avec la couronne 34 de P. Quand on sert le frein de D′, après avoir desserré D, le pignon 39 de S entraîne P en sens contraire de précédemment, et plus vite, par les pignons 38, 38, pivotés sur P, et en prise avec la couronne dentée 36 de D′.

Embrayage Norris. — L'arbre 1 porte (*fig.* 225) un plateau de friction biconique 22-21 et deux plateaux fous, 4, 4, solidaires des tambours 3, 3, que l'on serre sur 4 par les collets 7, 7, fous sur 1, à butées réglables 10, et repoussés par les vis 8, à bras 91, manœuvrés par la bielle 100.

Changement de marche de Grube

Cet appareil se compose d'un cadre en fonte, avec un long palier de butée pour l'arbre de l'hélice et un second pour l'arbre moteur. Sur chacun des arbres est calée une poulie à

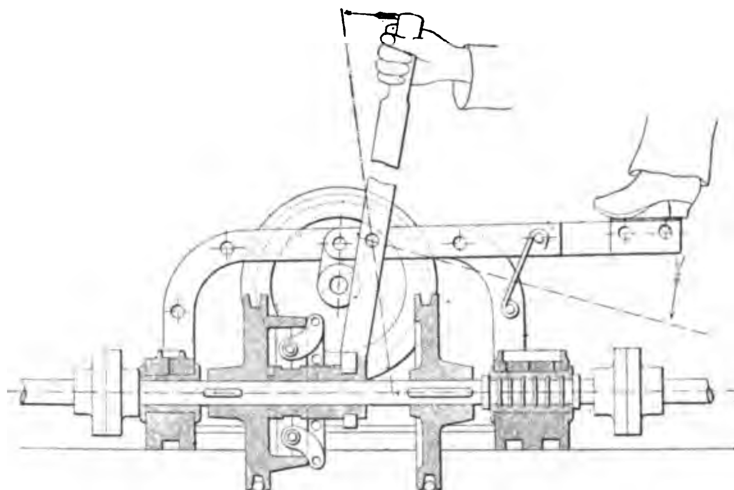


Fig. 226. — Changement de marche de Grube.

gorge. La poulie à gorge de l'arbre moteur est munie d'un anneau d'accouplement, dans lequel marche la friction de l'arbre de couche, de façon qu'en embrayant les deux arbres deviennent solidaires et que la marche avant soit établie. L'arrêt est fait par le débrayage de la friction. Pour produire la marche arrière, deux poulies folles à gorges se trouvent sur un petit arbre latéral qui repose dans un support forgé et mobile ; en levant les poulies, on tend la

corde qui, ordinairement, est libre; de cette façon on arrive à un mouvement en sens contraire de l'arbre de l'hélice. Les deux premiers mouvements sont faits avec le levier à main; les autres, avec un second levier manœuvré à l'aide du pied. La corde est sans fin et doit être prête à être remplacée en cas de rupture.

Changement de marche système Forest et Gallice

Ce changement de marche a été étudié tout spécialement en vue de son application à la navigation, pour permettre de changer le sens de rotation de l'hélice, lorsque celle-ci est actionnée par un moteur tournant toujours dans le même sens, comme le sont, en général, la plupart des moteurs à pétrole.

L'appareil se compose, en principe, d'un carter C venu de fonte avec une longue douille C, fermé par une calotte demi-sphérique E. Sur l'extrémité de cette douille se trouve fixé un segment extensible B. Un deuxième segment D laisse passer, à frottement doux, la douille C (*fig.* 227 et 228).

Un volant A et un pignon sont fixés et clavetés sur l'arbre moteur.

Le mouvement de l'arbre moteur est donné à l'arbre de l'hélice par l'intermédiaire d'un jeu de pignons Y, Y', et Z; ce dernier est claveté sur l'arbre de l'hélice, lequel passe librement à travers la calotte E.

Sur la douille C se déplace latéralement un manchon à gorge MK, commandé par un levier de manœuvre L. Ce manchon est formé de trois pièces, pour permettre à la moitié M de tourner pendant que l'autre partie reste immobile.

Le fonctionnement de l'appareil s'obtient par la manœuvre du levier en trois mouvements différents :

La position I correspond à la marche AV; la position II, au stopage; et la position III, à la marche AR.

Dans la position I, tout le système tourne, sauf la friction D et la partie K, qui, ainsi que nous l'avons dit, reste toujours invariable.

Dans la position III (marche Æ), la friction forme frein pour immobiliser la pièce CE qui reste fixe, cette fois ; dans ce cas,

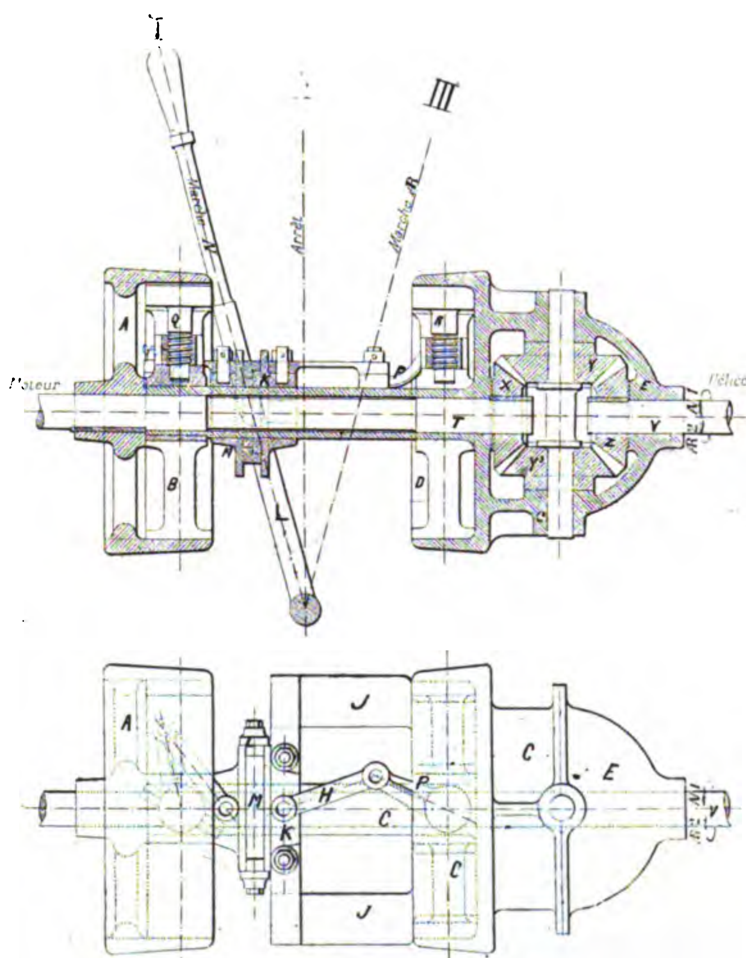


Fig. 227 et 228. — Changement de marche Forest et Gallice

l'arbre moteur T transmet un mouvement inverse à l'arbre de couche V, par l'intermédiaire du jeu d'engrenage XYY'Z.

Dans la position II, l'arbre de couche reste immobilisé par la résistance qu'offre la garniture de la boîte à étoupe ainsi que l'eau sur les ailes de l'hélice. L'arbre moteur continue à

tourner par la roue d'angle X, entraînant le carter dans son mouvement de rotation ; à ce moment, les deux pignons d'angle YY' forment satellites autour du pignon Z.

Ce changement de marche fonctionne depuis 1893 sur le yacht *Berthic* attaché au port du Pouliguen, sur divers yachts et sur un des canots de la Victorieuse du port de Brest.

Hélice de M. Fergusson

M. Fergusson s'est attaché à construire un moteur qui ne laisse apparaître l'hélice à l'extérieur qu'au moment de la mettre en action. Pour cela, il rentre, à l'intérieur d'un logement cylindrique dans l'axe, son hélice dont les ailes sont rabattues dans le sens de l'arbre, à la façon des valves d'un

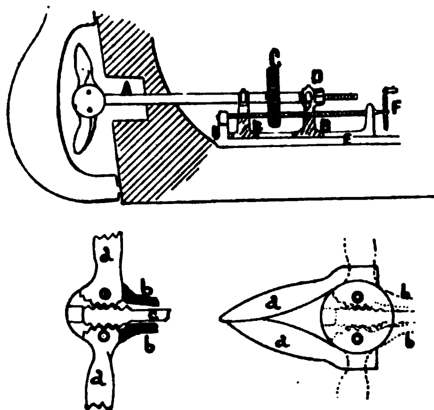


Fig. 229 et 230. — Hélice de M. Fergusson.

coquillage. Ce mouvement longitudinal est donné à l'arbre de l'hélice au moyen d'une vis dont la rotation fait avancer les paliers où sont ménagés des écrous. Ces paliers sont munis de patins coulissant dans une glissière faisant corps avec le bâti et l'appareil.

Quand l'arbre a porté à son poste l'hélice, les ailes fermées, une seconde vis, intérieure à l'arbre et commandée par un écrou fixe, s'avance sans tourner à l'intérieur du moyeu ; par

une crémaillère dont elle est armée, sa tige force les ailes à s'ouvrir en engrenant avec deux secteurs dentés, découpés au talon des ailes. La marche en avant fait porter l'effort sur le moyeu. La marche en arrière, exceptionnelle, fait porter l'effort sur les dents de la crémaillère.

Un pignon à chaîne Galle sert de connexion entre l'arbre et le moteur placé par le travers. Ce nouveau moteur est actuellement en préparation.

Hélice de M. Robert Mac Glassau

Les figures 231, 232 et 233 indiquent la forme d'une aile articulée A, fixée sur le moyeu et à l'extrémité de l'arbre porte-hélice J, à travers lequel passe la tige I, qui se termine à son extrémité extérieure par la traverse G. De cette traverse partent

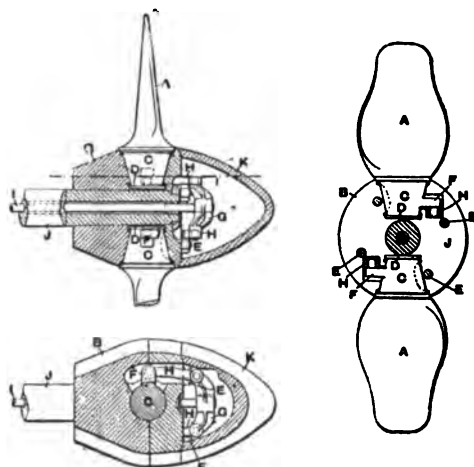


Fig. 231, 232 et 233. — Hélice de M. Robert Mac Glassau.

les petites bielles H, qui sont fixées aux petits leviers F, lesquels font saillie en dehors de la base de chaque aile.

Comme on le voit dans les figures 231 et 233, les ailes ont

une position médiane et forment un angle droit avec l'arbre de l'hélice. En faisant mouvoir la tige I et par suite la traverse G, on comprend que l'on puisse orienter les ailes depuis le pas extrême de la marche avant au pas extrême de la marche arrière.

Comme dans le propulseur *Marque*, on peut passer instantanément de la marche en avant à la marche en arrière et sans avoir à stopper les machines. Le moyeu B a une enveloppe étanche et est remplie d'huile.

Les figures 231 et 232 indiquent la disposition adoptée pour faire mouvoir et pour contrôler la tige I. Sur l'arbre J (*fig.* 232) se trouve le collier K. A travers ce collier et la tige I est passée et fixée la clavette L, qui peut glisser librement dans les fentes M pratiquées dans l'arbre.

Dans une large rainure pratiquée sur le collier K se trouve un anneau maintenu par les tourillons N dans les leviers O, qui pivotent au point P. Entre les extrémités supérieures de ces leviers se trouve une traverse qui est fixée à l'extrémité de la tige Q. Dans le cylindre R, il y a un piston, auquel est fixée la tige Q. De l'eau sous pression est introduite par le tuyau S dans le tiroir placé au-dessus du cylindre R, lequel tiroir est actionné par la tige T. Celle-ci est mise en mouvement par l'arbre de transmission W′, qui est actionné lui-même par une roue à main W ou par toute autre disposition convenable.

La tige V (*fig.* 234 et 235) indique la transmission avec la chambre des machines pour permettre de diminuer ou d'augmenter l'arrivée de la vapeur dans le cylindre à haute pression, selon que l'on diminue ou que l'on augmente le pas des ailes du propulseur. Ces appareils sont placés sous le contrôle du chef mécanicien et peuvent être manœuvrés de la passerelle sur les petits navires.

La figure 234 indique l'appareil employé pour la manœuvre des ailes, lorsque l'on ne fait pas usage de la force hydraulique. Le collier K est mû par un écrou sur la vis X et les leviers O. Sur l'arbre de l'hélice J, il y a deux pignons en acier, le premier qui actionne directement la roue Y et le

second qui fait mouvoir indirectement l'autre roue Y′, toutes deux tournant librement, sur la tige à vis X. Entre les roues Y et Y′, il y a un manchon d'embrayage à double face qui permet de mettre en communication l'une ou l'autre de ces roues avec le levier A′. Ce dernier est actionné par la tige B′ et le pignon C′ relié par la tige W à l'appareil contrôleur W,

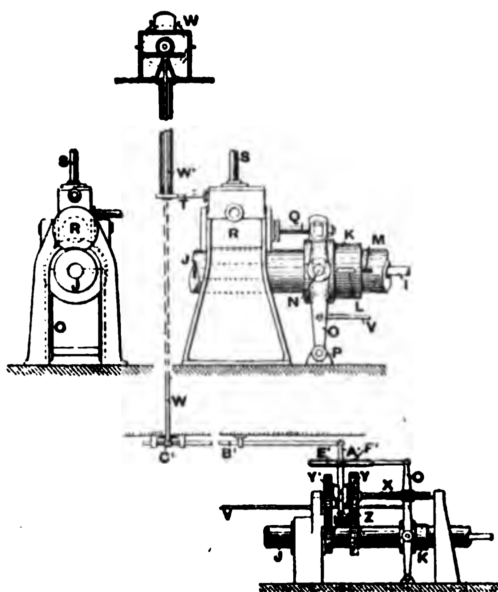


Fig. 234 et 235. — Hélice de M. Robert Mac Glassau.

qui est indiqué dans la figure 234. La barre à rainure E′ (*fig.* 235) a pour but de faire cesser automatiquement l'action du manchon d'embrayage au moyen de l'essieu F′ et du levier A′, lorsque les ailes du propulseur ont atteint leur pas extrême.

Hélice du capitaine Max Weihe

L'hélice du capitaine Max Weihe (*fig.* 236) est à deux ailes planes. Sur chaque tourillon se trouve calé un pignon droit ; une crémaillère double fait mouvoir les ailes, pour les placer

dans les trois positions et obtenir la marche AV : le stop, la

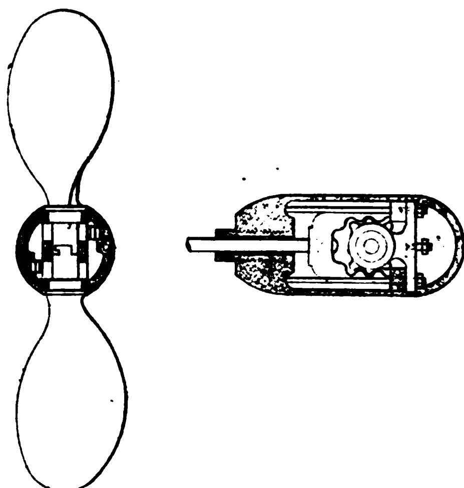


Fig. 236 et 237. — Hélice du capitaine Max Weihe.

marche AR, ainsi que les positions intermédiaires pour varier le pas :

Hélice réversible a pas mobile Forest et Gallice

Cette hélice n'a que deux ailes, dont les tourillons sont emboîtés l'un dans l'autre pour assurer un long portage à l'emboîtement (*fig.* 238). Sur chaque tourillon est fixé et claveté une roue d'angle. L'arbre porte-hélice est creux, et à l'intérieur passe un arbre plein ; à l'une de ses extrémités se trouve un pignon d'angle engrenant avec les deux roues des deux ailes d'hélice ; à l'autre extrémité est fixée et clavetée une vis à pas rapide à quatre filets. Un écrou se déplace latéralement par la manœuvre d'un levier commandé par un volant placé à la portée du pilote.

En tournant le volant dans un sens ou dans l'autre, on oriente les ailes progressivement sur la marche AV ou AR. Si

l'on ramène les ailes perpendiculairement à l'axe de la coque, on stoppe.

Les hélices à pas mobile ont été peu employées jusqu'ici, et cela pour plusieurs raisons. En effet, les hélices étant généralement actionnées par des machines à vapeur, facilement et docilement réversibles, il n'était pas indispensable d'employer des hélices réversibles.

De plus elles manquaient de solidité; les tourillons étaient relativement courts, et leurs moyeus énormes par rapport à la longueur des ailes.

En réalité, une hélice réversible ne doit pas être à ailes planes; elle doit être étudiée avec le même soin qu'une hélice à ailes fixes, afin de déterminer le pas qu'il convient de donner au modèle de l'aile, de telle sorte que, lorsque les ailes sont orientées pour donner le maximum de pas que peut fournir le moteur, ce pas soit uniforme sur toute la surface de chaque aile, ce que l'on ne saurait obtenir avec des ailes à surfaces planes.

Nous donnons une autre

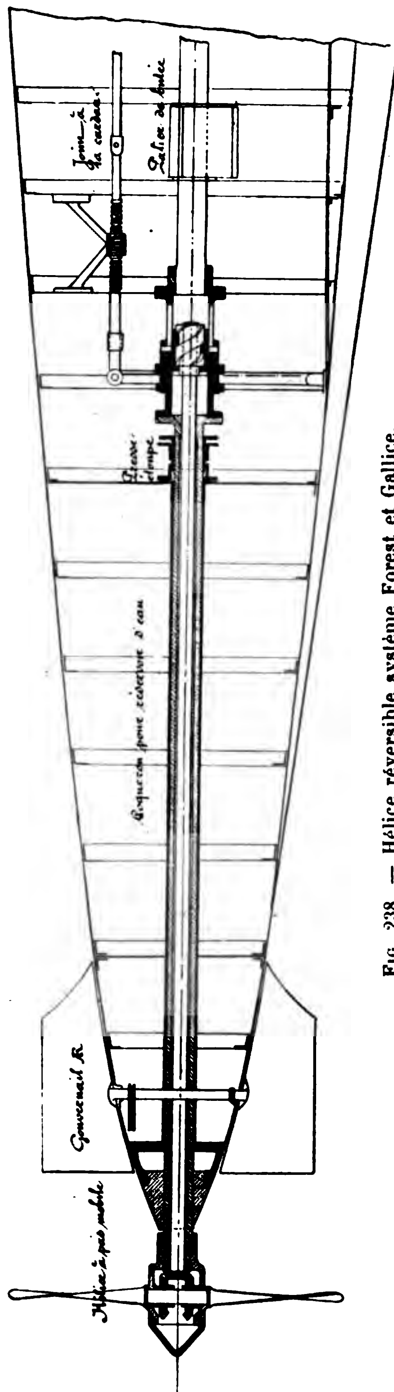


Fig. 238. — Hélice réversible système Forest et Gallice.

disposition de cette hélice (*fig.* 239) dont l'application a été faite aux yachts *Bengali*, *Courlis* et *Saint-Jean*.

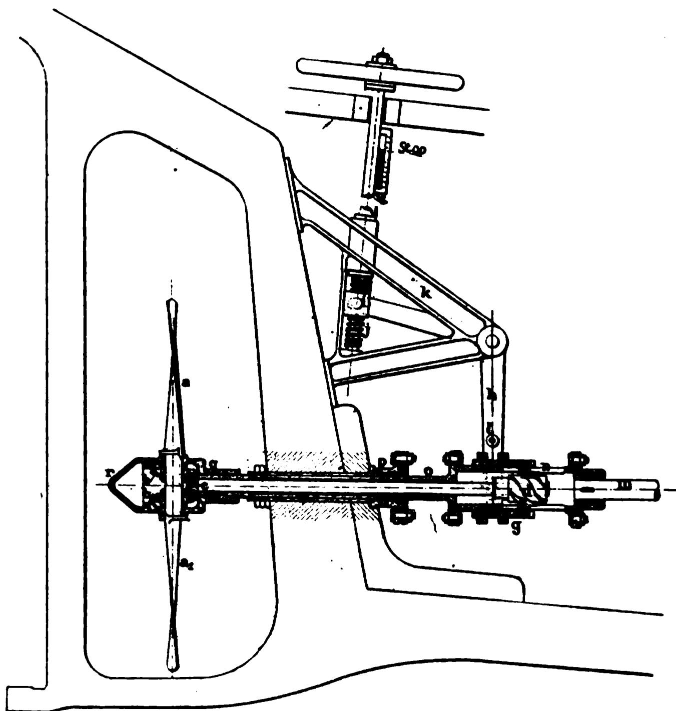


Fig. 239. — Hélice réversible système Forest et Gallice.

a, a_1, branches de l'hélice. — b, b_1, pignons clavetés sur les branches. — c, pignon commandant les deux premiers. — d, vis clavetée sur la tige du pignon c. — f, écrou de la vis d. — g, douille en deux parties servant d'entraînement à l'écrou f. — h, levier composé de deux flasques servant à faire coulisser la douille g. — i, écrou manœuvrant le levier h. — j, vis terminée par un volant et commandant l'écrou i. — k, support du mouvement de manœuvre. — l, entretoise des deux flasques du levier h. — m, arbre de la machine. — n, douille portant deux rainures où coulissent les deux parties de l'écrou f. — o, arbre sur lequel est monté le moyeu de l'hélice. — p, douille d'étambot. — q, moyeu de l'hélice en deux parties fermant la boîte qui contient les engrenages b, b_1 et c. — r, bouchon de moyeu. — s, aiguille indicatrice.

Nous signalerons l'hélice de Marque, appliquée au yacht *Avenir*, et l'hélice Bévis.

CHAPITRE XI

ARMEMENT

Bien longtemps avant l'apparition de la torpille automobile Whitehead, l'armement des bateaux sous-marins consistait en caisses de fer, chargées de poudre et arrimées de chaque côté du bord.

Ces caisses, hermétiquement fermées, étaient accouplées par une chaîne assez longue pour que, placées dans un navire à l'ancre, dans un port, elles pussent remonter de leur propre poids et s'appliquer aux flancs du navire pour y éclater au moment voulu, par le jeu d'une pile électrique placée dans l'intérieur du bateau sous-marin.

Si le navire à attaquer était, au contraire, en marche, la manœuvre du sous-marin consistait à se tenir sous l'eau et à lâcher, sur la route que devait suivre l'ennemi, quelques couples de caisses destinées à éclater par le contact de sa quille.

D'autres bateaux sous-marins employèrent les torpilles fixées au bout d'esparres et manœuvrées seulement à quelque distance du navire à attaquer. Ce système offrait également un moyen sûr d'atteindre l'adversaire visé ; mais il avait, on en conviendra, le grave inconvénient de faire courir de grands dangers à l'équipage assaillant.

L'emploi de la torpille automobile à bord des torpilleurs a toujours été très discuté sur ses chances de réussite. En effet, on estime que, par mer calme et en l'absence de tout courant, une torpille Whitehead, lancée de 200 à 400 mètres de son point de départ, arrive certainement à toucher son but, mais

dans les eaux coupées de courant, par le clapotis et la houle, et sur un but mobile, les chances diminuent dans une grande proportion, ou, pour mieux dire, il ne faut pas compter sur le coup porté. Si nous admettons une distance pratique entre 200 à 400 mètres, on est en droit de constater que le torpilleur se met dans le cas de pouvoir être coulé à son tour par la puissante artillerie d'un cuirassé dont le champ de tir peut prendre un rayon de 2 kilomètres.

Les torpilles automobiles, lancées de l'intérieur des sous-marins, nous semblent avoir beaucoup plus de chances de réussite, car il faut s'approcher plus près de l'ennemi, à une distance beaucoup moindre, et lui lancer à coup sûr sa torpille, dont l'effet destructeur est certain. Néanmoins le lancement sous-marin présente certaines difficultés que l'on peut corriger avantageusement.

Dans le cas des lancements par le travers d'un bateau en marche, la torpille, à sa sortie du tube, est animée de deux mouvements : le mouvement dû à l'impulsion de la charge de poudre et le mouvement de translation du bateau ; l'avant est donc dévié par la résistance de l'eau ; l'arrière continuant, par suite de la vitesse acquise, la torpille s'écarterait donc de la direction primitive dans laquelle elle a été lancée. De plus, de ce mode de lancement par le travers, il résulte un changement d'assiette transversale au moment où la torpille quitte son chantier.

Les tubes de lancement placés à l'avant et suivant l'axe longitudinal du torpilleur sous-marin sont le dispositif le plus avantageux pour obtenir un tir précis.

Quelques bateaux sous-marins, notamment *le Nordenfelt*, dernier modèle, et *le Holland*, ont leurs tubes de lancement légèrement inclinés par rapport à l'axe longitudinal du bateau, de façon à obtenir une trajectoire oblique, ce qui permet à la torpille d'atteindre plus facilement la profondeur d'immersion pour laquelle elle a été réglée.

En ce qui concerne le lancement par l'avant, il n'y a pas lieu de se préoccuper de la profondeur d'immersion à laquelle

le bateau est immergé pour compenser la perte de poids résultant du brusque départ de la torpille ; si l'on a eu soin de ménager un dispositif permettant l'introduction de l'eau ambiante au lieu et place de la torpille, le poids du volume d'eau admis dans le tube étant sensiblement égal à celui de la torpille. La même observation s'applique également en ce

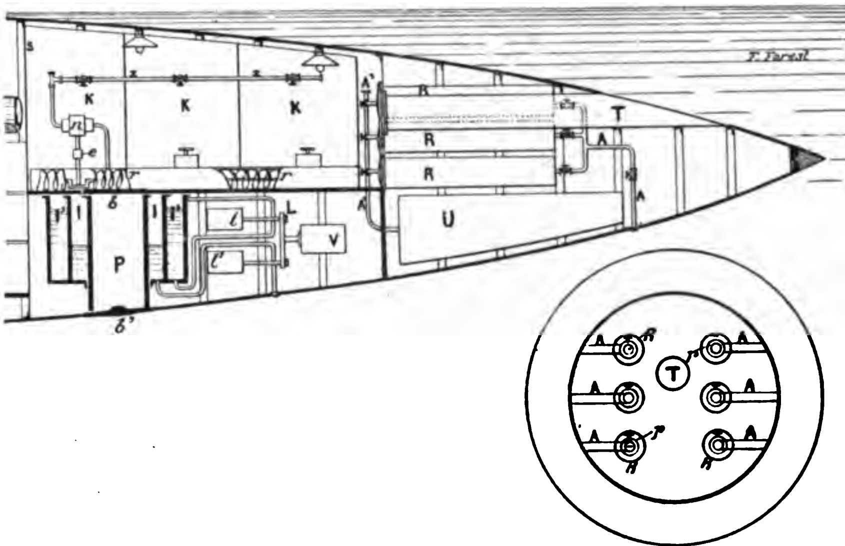


FIG. 240 et 241. — Avant du Plongeur *Holland*, vues de l'appareil militaire et de l'appareil compensateur.

qui concerne la rupture de l'horizontalité du bateau provenant de la même cause.

Dans le cas d'un second lancement, il est de toute nécessité d'obturer le tube vers l'extérieur, afin de vider et conserver l'eau qui s'est introduite dans le tube pour ne pas détruire l'assiette longitudinale du bateau. De plus il faudra prévoir un réservoir compensateur destiné à recevoir l'eau admise dans le tube de lancement.

Ce réservoir compensateur devra être placé sous le magasin des torpilles, et ses dimensions seront calculées proportionnellement en vue de l'armement complet du bateau.

L'obturateur extérieur du tube peut être à deux volets, ou bien un tampon à emboîtement et à pivot. Cet obturateur doit se manœuvrer facilement de l'intérieur ; il doit être muni, en outre, de crans de sûreté, pour assurer l'ouverture du tube au moment du lancement de la torpille. Le tube lance-torpilles fonctionne donc comme une écluse; les deux obturateurs servent de portes que l'on ouvre simultanément après chaque lancement, pour permettre à l'éclusée d'eau de venir, dans le réservoir compensateur, remplacer le poids de la torpille.

Indépendamment des appareils de stabilité d'immersion, les bateaux sous-marins doivent également posséder certains dispositifs permettant de compenser les pertes de charges intérieures, dues en partie à la consommation du combustible nécessaire à la propulsion du bateau ou aux lancements des torpilles automobiles.

L'appareil imaginé par M. Holland a pour but d'admettre automatiquement de l'eau dans les espaces rendus vides, par suite de ces diverses pertes de charges (*fig*. 240).

Au centre du bateau est disposé un cylindre P.

Ce cylindre est pourvu d'un couvercle *b'* donnant accès à l'eau ambiante et d'un second semblable *b*, s'ouvrant vers l'intérieur.

Autour de ce cylindre sont disposés deux réservoirs concentriques I et I'. Le premier, I, contient de l'eau, et le second, I', de l'huile ou tout autre combustible liquide.

L représente l'ensemble d'une pompe à vapeur actionnée par un moteur V.

Les deux pompes *l'* et *l* servent : l'une *l'* à aspirer l'huile du réservoir I' pour la refouler ensuite dans le foyer de la chaudière, tandis que la pompe *l* aspire l'eau de l'extérieur et la refoule ensuite dans le récipient I.

Comme les pistons des deux corps de pompe *l* et *l'* sont actionnés simultanément, et que les dimensions sont prises convenablement pour déplacer des poids égaux des deux liquides, il s'ensuit que l'huile consommée sera compensée par l'eau admise dans le bateau, et cela d'une façon régulière et automatique.

Cas où la substance consommée représente un corps solide, une torpille, par exemple

A cet effet, l'intérieur de la coque possède un ou plusieurs tubes R destinés à loger chacun une torpille ou projectile H. A la partie AV ces tubes sont hermétiquement fermés; il en est de même de la partie AR, qui se ferme à l'aide d'un couvercle J (*fig.* 242).

Dans l'intérieur de ces tubes sont logés un piston N, qui les sépare en deux parties : l'AV servant de chambre à eau, et l'AR

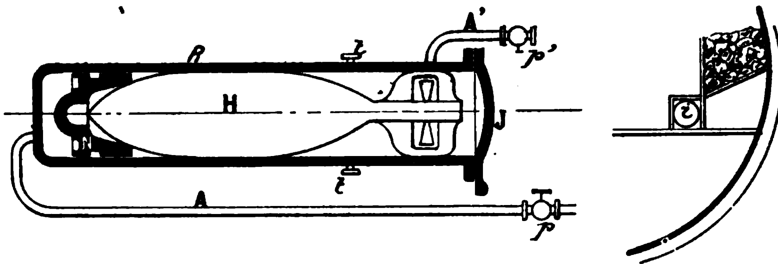


Fig. 242 et 243.

au logement de la torpille. Une conduite A relie la chambre à eau avec l'extérieur du bateau, en passant à travers la coque. Cette conduite est, en outre, pourvue d'un robinet *p*.

La chambre au projectile est reliée au réservoir usuel d'air comprimé U, par l'intermédiaire d'une conduite A'; un robinet *p'* établit ou ferme la communication.

Pour retirer la torpille de sa cellule, on soulève le couvercle J, et on ouvre ensuite le robinet *p* du tuyau d'entrée d'eau. L'eau sous pression, qui est en rapport avec le degré de submersion du bateau, pousse le piston N vers l'intérieur et chasse la torpille.

Le mouvement du piston est limité dans sa course par plusieurs arrêts *t*, disposés de façon qu'ils arrêtent le piston en

laissant passer la torpille. *L'eau introduite est égale à celui de la torpille.*

Pour pouvoir chasser l'eau de la torpille et ramener le piston à sa position initiale, on ouvre le robinet à air : le piston expulsera l'eau.

La conduite A peut être disposée également, ainsi que l'indique la figure 242, suivant les dimensions du bateau.

La figure 243 montre un dispositif permettant de charger automatiquement le foyer de la chaudière, à l'aide d'un combustible solide.

Dans ce cas, le combustible est emmagasiné dans des réservoirs K, K, K, placés le long des parties latérales du bateau ; ils ne sont remplis de combustible que de deux en deux, de façon qu'il existe un réservoir vide entre deux réservoirs pleins.

Le combustible est conduit au foyer au moyen d'une hélice transporteuse *r* actionnée par un moteur *e*. Cette hélice est placée dans toute la longueur et à la partie inférieure des réservoirs K.

Pendant que fonctionne l'hélice transporteuse, une pompe *n* reliée au moteur *e* fait rentrer l'eau dans les réservoirs vides au moyen d'une conduite *z*.

TORPILLES AUTOMOBILES

Préliminaires. — Une torpille — nous ne parlons ici que des torpilles lancées — est un projectile explosible de grande dimension, destiné à se mouvoir sous l'eau dans laquelle il doit décrire une trajectoire le conduisant à un but situé à une faible profondeur au-dessous de la surface libre.

Il en résulte immédiatement que la trajectoire d'une torpille doit être sensiblement rectiligne et horizontale, c'est-à-dire extrêmement tendue, sa flèche verticale ne pouvant excéder la hauteur du niveau de l'eau au-dessus du point à atteindre.

Mettons donc en présence les données du problème qui se pose :

Un projectile de grande dimension, et par suite de poids considérable, doit être tiré de plein fouet dans un milieu extrêmement résistant ; il faudra donc lui imprimer une vitesse initiale très grande, ce qui exige une charge de poudre suffisante pour développer la puissance vive nécessaire, et une longueur de tube permettant la combustion complète de cette poudre ; mais alors une égale puissance vive agissant par recul, il devient évident qu'aucun affût, aucun plancher de navire surtout, ne résisterait à une semblable influence. Signalons, en outre, pour mémoire seulement, la nécessité insolite où l'on serait de submerger la tranche de la pièce à feu pour éviter le ricochet qui ne saurait manquer de se produire au cas où l'on tenterait un semblable tir au moyen d'une artillerie placée au-dessus du niveau de l'eau et lançant son projectile à la surface pour le mettre dans les conditions demandées à une petite distance du point de lancement.

Nous sommes donc en présence d'un problème dont les données mécaniques ne se rapportent nullement aux données ordinaires de la balistique extérieure et dont, par suite, la solution doit être cherchée dans un autre ordre d'idées que celui qui préside à l'étude des pièces de gros calibre.

Ce sont ces considérations qui, raisonnées, développées, analysées avec soin, ont conduit d'abord à cette conclusion : puisque la bouche à feu capable d'un tel service ne peut être pratiquement réalisée, c'est du côté du projectile lui-même que les recherches doivent être dirigées.

Cette simple remarque, rapprochée des résultats antérieurement acquis sur les torpilles fixes ou portées, a conduit à l'invention de la torpille automobile.

Une torpille automobile est un projectile qui est lancé, avec une faible vitesse initiale, hors d'un tube placé horizontalement un peu au-dessus du niveau de l'eau. La faible valeur de la vitesse initiale ne permet pas le ricochet au moment de la chute du projectile à la surface de l'eau, et celui-ci est muni, *dans son corps même*, d'appareils spéciaux de réglage et de

propulsion, dont le jeu combiné assure automatiquement son immersion à la profondeur voulue et sa marche horizontale en avant avec une vitesse relativement faible, mais régulière, dans les limites extrêmes de distances auxquelles peut s'effectuer ce tir.

On conçoit immédiatement la complication d'engins de cette nature, et nul ne devra s'étonner que l'on ait cherché à obtenir le résultat voulu au moyen d'appareils absolument différents, même comme principe.

De toutes les torpilles automobiles diverses, parues jusqu'à ce jour, deux seulement méritent d'être retenues : la *torpille Whitehead* en usage en France et presque dans toutes les puissances du monde ; la *torpille Howell*, qui arme la Marine des Etats-Unis et dont l'usage se répand de plus en plus dans les Marines des autres pays.

Nous insisterons sur cette dernière qui est la plus récente ; donnons donc d'abord quelques renseignements succincts sur son aînée, à seule fin de pouvoir ensuite les comparer utilement.

TORPILLE WHITEHEAD

Cette torpille, du nom de son inventeur, a été découverte en 1868. Elle affecte la forme d'un énorme cigare.

La force motrice est produite par de l'air comprimé ; dans un réservoir sous une forte pression, qui, distribué à une machine, actionne deux hélices à deux ailes tournant en sens inverse et placées à l'arrière de la torpille.

Elle est lancée à l'air comprimé ou à la poudre au moyen d'un tube de lancement.

La charge explosible est placée à l'avant ; elle s'arme automatiquement et explose au choc par la déflagration d'une capsule de fulminate de mercure.

L'immersion est obtenue par la combinaison d'un pendule et d'un piston hydrostatique.

On peut faire qu'elle stoppe ou qu'elle remonte à la surface

lorsqu'il s'agit d'un tir d'exercice, afin de pouvoir la retrouver, et en temps de guerre la faire couler, afin qu'elle ne puisse tomber au pouvoir de l'ennemi et même devenir un danger sérieux pour les navires amis qui viendraient à la heurter.

Cette torpille se compose de sept parties principales :

1° Le cône de charge ;

2° La chambre des régulateurs ;

3° Le réservoir d'air comprimé ;

4° La chambre des machines ;

5° Le flotteur arrière ;

6° Le compartiment des engrenages ;

7° La queue.

1° Le *cône de charge* est semblable à la torpille Howell ; il ne varie que par quelques légers détails de construction ; sa

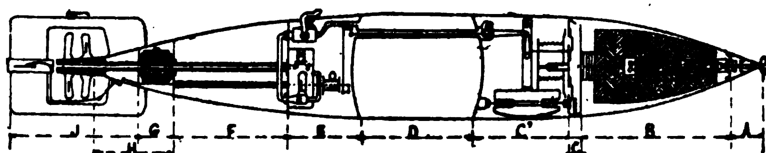


Fig. 244.

charge de coton-poudre est beaucoup moins forte que dans la Howell ; cette différence provient de la complexité de l'appareil dont la plus grande partie est réservée au réservoir d'air comprimé et des machines accessoires.

Le poids de la charge est environ de 45 kilogrammes.

2° *Chambre des régulateurs.* — Cette chambre est étanche et contient le pendule et le piston hydrostatique ; la pression de l'eau, qui agit sur la face du piston, entre par une série de petits trous aménagés dans la paroi de la torpille, entre la chambre des régulateurs et le cône de charge, et appelée chambre à eau. Comme dans la Howell, les forces mises en jeu par les différences de pression exercées entre les deux faces du régulateur d'immersion étant beaucoup trop petites, elles sont

renforcées par l'intermédiaire d'un appareil auxiliaire appelé servo-moteur (chambre des machines).

Par une disposition convenable de leviers et de tiges, le servo-moteur actionne un gouvernail à palette horizontale fixée à l'extrémité de la queue.

Les leviers actionnés par les appareils régulateurs d'immersion au servo-moteur passent à travers le réservoir d'air comprimé au moyen d'un tube venant déboucher d'un côté dans la chambre des machines et de l'autre dans la chambre des régulateurs. L'étanchéité de cette dernière est obtenue au moyen d'une boîte étanche fixée sur le fond du réservoir.

3° Le *réservoir d'air comprimé*, qui occupe la plus grande longueur de la torpille, est en acier fondu et contient environ 200 litres d'air comprimé sous une pression de 70 atmosphères, cette pression est poussée dans les nouvelles torpilles à 90 atmosphères.

4° La *chambre des machines* contient : *a*) la boîte des surfaces ; *b*) le régulateur de pression ; *c*) les machines motrices ; *d*) le servo-moteur.

a) *Boîte des soupapes.* — La communication avec les pompes de compression nécessaire au chargement du réservoir se fait au moyen de la boîte à soupapes, qui renferme, l'une de chargement, l'autre de prise d'eau à la machine, et qui la met en communication avec le réservoir.

Les deux soupapes sont placées de façon à avoir une conduite unique pour le chargement et la communication à la machine.

La boîte des soupapes ne permet l'admission de l'air dans les machines que lorsque la torpille a atteint la surface de l'eau.

A cet effet une petite palette appelée palette russe se rabat automatiquement sous la poussée de l'eau et détermine l'ouverture de la soupape.

b) *Régulateur de pression.* — Avant de se rendre à la machine et au servo-moteur, l'air comprimé passe par un détendeur à air analogue à nos détendeurs de vapeur, qui réduit l'air comprimé à une pression constante de 28 atmosphères indépen-

dantes de celle du réservoir qui, par suite, donne aux hélices une vitesse uniforme.

c) *Machine motrice*. — Les anciens modèles de torpilles contenaient des machines de Brotherood, et les nouveaux, des machines Whitehead. La machine Brotherood est à trois cylindres dont les axes sont à 120° dans un même plan perpendiculaire à l'arbre moteur (appelé arbre porte-hélices); cet arbre est creux et débouche, d'une part, dans la chambre des bielles et, d'autre part, à l'arrière des gouvernails.

Les cylindres sont d'une pièce et venus de fonte avec la chambre dans laquelle se meuvent les bielles. Chaque cylindre est à simple effet et actionne un piston à fourreau; les trois bielles agissent sur une manivelle unique.

Les orifices d'admission et d'évacuation sont ouverts et fermés par un seul tiroir tournant.

La machine Whitehead est également à simple effet; les trois cylindres ont la même position.

Elle est formée de trois tiroirs distincts à mouvement rectiligne, commandés par une même came fixée sur l'arbre. Ces deux machines tournent environ à 900 tours; leur puissance varie entre 35 à 50 chevaux.

d) *Servo-moteur*. — Comme nous l'avons dit plus haut, le servo-moteur a pour but de donner au gouvernail horizontal la position demandée par le piston hydrostatique; il emprunte son énergie à l'air du réservoir et passe ensuite dans le régulateur de pression

5° Le *flotteur arrière* sert à lester la torpille. A cet effet une masse de plomb est soudée à l'enveloppe dans la partie basse du flotteur; cette masse sert à corriger les défauts de symétrie que l'on pourrait faire pendant la construction de la torpille. Il a, en outre, pour but de permettre à la torpille de venir flotter à la surface pour pouvoir la recueillir après un tir d'exercice; ou bien, en temps de guerre, lorsqu'elle a manqué son but et à fin de course, un mécanisme, appelé mécanisme de submersion, provoque l'ouverture d'un robinet fixé à l'arrière de la torpille, lequel remplit d'eau le flotteur.

6° *Compartiment des engrenages.* — La propulsion est obtenue par la rotation de deux hélices de pas contraire et tournant en sens inverse : l'hélice avant est clavetée sur un manchon fixé à frottement doux sur l'arbre moteur; l'hélice arrière est fixée directement sur l'arbre de la machine.

Le manchon reçoit un mouvement de rotation en sens contraire de l'arbre de l'hélice, par l'intermédiaire de pignons coniques.

Il est nécessaire de faire tourner les hélices en sens contraire; car, s'il en était autrement, la torpille subirait l'influence d'un couple qui l'obligerait à s'incliner autour de sa position d'équilibre sans avancer.

7° La *queue de la torpille* comprend : *a*) Le mécanisme de stoppage, mécanisme combiné avec un compteur de tours également fixée sur la queue, qui permet, en fermant la soupape de prise d'air du réservoir, de faire stopper la torpille à une distance déterminée.

Le mécanisme n'est pas employé pendant les tirs d'exercices :

b) Le *gouvernail de direction* (pièce à ailettes). — La position de cette palette est invariable pendant tout le parcours de l'engin; sa position est déterminée suivant la nature des courants du point de lancement.

De même que, pour la torpille Howell, on immobilise le pendule pendant les premiers instants de son parcours; et enfin

c) Le *gouvernail de direction*, mobile sur son axe, et commandé par le servo-moteur.

La torpille Whitehead a un parcours de 500 à 800 mètres, à une vitesse de 25 nœuds.

Plusieurs puissances ont acheté à l'inventeur le droit de fabriquer ses torpilles dans leurs arsenaux. M. Schwartzkoff a également acheté le droit d'en fabriquer.

Les torpilles qui sortent de ses ateliers sont en bronze, avantage qui permet de les conserver assez longtemps à l'état humide et évite, de cette façon, le démontage qui, souvent, change le réglage de l'engin.

Par une coïncidence curieuse, le nom de M. Whitehead signifie, en anglais, tête blanche, et celui de M. Schwartzkoff, en allemand, tête noire.

Valeur militaire de la torpille Whitehead

Après cette description succincte, mais complète, des organes qui constituent la torpille Whitehead, on est en droit de reconnaître que cette torpille est le plus merveilleux engin de destruction qui ait imaginé le génie inventif de l'homme.

Cette torpille a une régularité d'immersion parfaite et un fonctionnement assuré, lorsqu'elle est bien réglée; mais on constate aisément qu'elle est beaucoup trop compliquée; de plus, ses organes sont d'une délicatesse extrême, et le réglage demande beaucoup d'attention et de soins.

Le réservoir d'air comprimé doit être, s'il est soumis à une haute température, entouré de linges mouillés pour éviter un brusque abaissement de température au moment de l'immersion et, par suite, occasionnerait une diminution de pression. De plus, ce réservoir nécessite des appareils compliqués, tels que les compresseurs d'air.

La charge explosible est relativement faible par rapport au reste de la torpille, et il n'est guère possible de l'augmenter outre mesure sans être obligé d'augmenter le reste de l'engin dans les mêmes proportions.

Elle est — et c'est là le point le plus important — sujette à de fréquentes déviations initiales. En effet, le facteur principal, pour les conditions que doit avoir une torpille automobile, c'est une bonne direction ; les ailettes directrices sont bien trop insuffisantes pour corriger les écarts que subit la torpille en dehors du plan de visée.

En effet, la position donnée aux ailettes n'est calculée que suivant la nature et la direction du courant au point de lancement, et ce courant peut très bien ne pas être le même à 280 ou 400 mètres plus loin.

On vient tout récemment de rendre mobiles ces ailettes, au

moyen d'un appareil imaginé par M. Obry, officier autrichien.

Cet appareil est tout simplement un petit volant animé d'une grande vitesse de rotation avant le départ de l'engin, de façon à pouvoir utiliser ses effets gyroscopiques pour combattre les déviations angulaires de l'engin.

Les expériences qui viennent d'être faites à ce sujet n'ont pas donné de résultats bien satisfaisants (à 200 mètres les écarts de la torpille étaient de 2^{m},50).

En résumé, l'invention consiste à prendre le moteur de la Howell, ainsi que nous le verrons par la suite, pour le mettre dans la torpille Whitehead déjà si compliquée; le besoin ne s'en faisait vraiment pas sentir.

TORPILLE HOWELL

La torpille Howell, dont l'invention remonte à 1870, est due au capitaine de vaisseau John Adams Howell, de la Marine des Etats-Unis. De 1870 à 1891, M. Howell, aidé d'actifs collaborateurs, perfectionne cet appareil qui, sous sa forme primitive trop schématique, ne donnait pas le rendement prévu et attendu; ce fut en 1891 que la torpille Howell, arrivée à un remarquable degré de perfection, fut expérimentée sérieusement et en grand par la Société Hotchkiss, qui s'occupait alors de sa construction. Les résultats obtenus en rade de Villefranche furent concluants. Une autre Société, immédiatement fondée en Amérique, reprit les expériences et arriva aux mêmes résultats satisfaisants.

Le Gouvernement américain s'intéressa à la question et nomma aussitôt une Commission technique, chargée d'étudier le nouvel engin et d'en faire les essais comparatifs avec la torpille Whitehead.

Environ cinq cents coups furent tirés, moitié avec la torpille Howell, moitié avec la torpille Whitehead, dans des conditions identiques, qui furent souvent les plus défavorables que l'on puisse rencontrer dans un tir réel.

On mit, par exemple, pour but un torpilleur passant par le travers avec une vitesse de 18 nœuds en mer démontée, et pendant le mouvement de la marée.

Sur l'ensemble des expériences, la torpille Howell donna un rendement de 98 0/0 des coups portés dans le but; la torpille Whitehead ne donnait, dans les mêmes conditions, que 37 0/0. Aussitôt les résultats connus, le Gouvernement américain déclassa son ancien matériel et adopta de suite le nouvel engin pour sa défense mobile.

Le moteur de la *torpille Howell*, essentiellement différent de celui de la précédente, est actionné par un lourd volant en acier, que l'on lance dans un plan vertical, à une vitesse qui atteint 10.000 tours environ par minute.

L'énergie emmagasinée dans le volant se transmet directement aux hélices par un jeu d'engrenages.

La nature de ce moteur donne déjà à la torpille Howell une supériorité incontestable sur la torpille Whitehead.

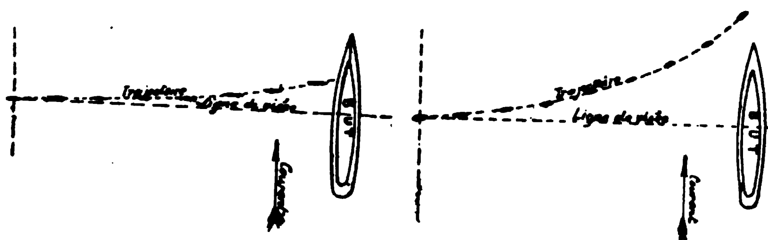


FIG. 245 et 246.
Déviation de la torpille Howell. Déviation de la torpille Whitehead ne subissant pas d'effet gyroscopique.

Dans celle-ci, en effet, le gaz comprimé à haute pression dans les réservoirs du moteur produit en s'échappant un bruit et un bouillonnement qui signalent de fort loin la torpille à l'attention du navire sur lequel elle est dirigée et qui peut souvent l'éviter par une manœuvre rapide ; le volant de la torpille Howell, au contraire, permet à la torpille de se déplacer entre deux eaux sans qu'aucun phénomène extérieur dénonce sa présence.

Force directrice de la torpille. — Indépendamment de sa force motrice, le volant procure à la torpille une force directrice. L'action de cette force de direction n'est autre qu'une application directe de la théorie du gyroscope. Elle a pour effet, lorsque la torpille est soumise à l'action de forces dérivatrices, de la faire simplement rouler de droite à gauche et de gauche à droite sans modifier sa direction, comme cela se produit avec les autres torpilles similaires.

Le roulement que ces forces font prendre à la torpille oblige son régulateur à donner une série d'impulsions aux gouvernails de direction (GV), et ces impulsions sont telles qu'elles tendent à faire prendre à la torpille un mouvement opposé à celui des forces extérieures dérivatrices. Finalement la torpille roulée par ces forces dérivatrices est ramenée à sa position normale

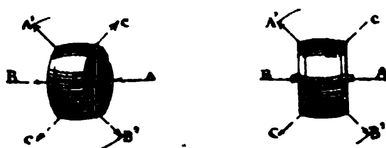


Fig. 247 et 248.

par l'action automatique de ses gouvernails, de sorte qu'il n'y a aucun changement dans la direction angulaire de sa course, ou du moins qu'elle ne s'en écarte que par petits déplacements parallèles.

En effet, vu du côté droit de la torpille, le volant tourne dans le sens indiqué par les flèches *a*, *b* (*fig.* 247 et 248). Une force agissant sur la pointe de la torpille et tendant à la faire dévier sur la gauche, influera sur le volant, comme le feraient des forces appliquées en A et en B; mais la force A, agissant sur les parties qui se dirigent dans la direction *a*, donnera une résultante dans la direction de A', et la force B, agissant sur les molécules se mouvant dans la direction *b*, donnera une résultante B'; la torpille roulera simplement sur la gauche au lieu d'être déviée de sa route. Les gouvernails verticaux agissant pour tourner l'arrière de la torpille à gauche et sa pointe à

droite produisent des résultantes C jusqu'au retour à la position normale et sans donner lieu à une déviation de la trajectoire de la torpille.

Évaluation de la force motrice de la torpille Howell. — Connaissant les principales dimensions de la torpille et du volant, ainsi que le poids total, on peut déterminer l'effort moteur développé par le volant et le parcours de l'engin, étant donné que la vitesse moyenne adoptée est d'environ 15 mètres par seconde.

Ce problème assez complexe a été résolu d'une façon très simple et les calculs à trois équations générales, qui permettent d'exprimer la valeur de l'espace parcouru en fonction du temps et des caractéristiques de la torpille.

Si l'on appelle :

P, le poids de la torpille avec son volant ;

p, le poids du volant ;

ρ, son rayon de giration ;

K, le rapport de la vitesse linéaire de l'extrémité du rayon de giration à la vitesse de translation de la torpille ;

V_0, la vitesse initiale de la torpille en mètres par seconde (15 mètres) ;

V, la vitesse à l'instant t compté à partir du moment où la vitesse est égale à V_0 ;

$g = 9{,}81$, l'intensité de la pesanteur ;

et si l'on admet la formule de résistance (Claudel) :

$$F = fV^2,$$

dans laquelle F égale la résistance opposée par l'eau au mouvement de la torpille à la vitesse V, on a les équations suivantes :

$$(1) \qquad V = \frac{(P + K^2p)V_0}{P + K^2p + gfV_0t}.$$

$$(2) \qquad t = \frac{P + K^2p}{gf}\left(\frac{1}{V} - \frac{V_0}{1}\right).$$

Si on appelle x l'espace parcouru depuis le moment où la

vitesse est égale à V_0 jusqu'au moment où elle tombe à la valeur V, on a :

$$x = \left(\frac{P + K^2p}{gf}\right) L \left(\frac{V_0}{V}\right). \qquad (3)$$

Le logarithme qui figure dans la dernière équation est le logarithme népérien. On l'obtient en multipliant les logarithmes ordinaires des tables par le nombre 2.3026.

Ces trois équations (1), (2) et (3) contiennent la solution de toutes les équations posées, et si l'on veut obtenir la valeur de l'espace en fonction du temps, on trouve :

$$x = \frac{P + K^2p}{gf} L \left(\frac{1 + gfV_0t}{P + K^2p}\right).$$

Les unités fondamentales adoptées sont : le kilogramme, le mètre et la seconde.

L'équation (3) L est très importante, parce qu'elle montre que, dans deux torpilles qui ne diffèrent que par le rapport K, les espaces parcourus à une *même vitesse moyenne* sont proportionnels à $P + K^2p$.

Les résultats qu'il nous a été permis d'obtenir pratiquement à la Société Hotchkiss ont confirmé les solutions de ce problème.

La torpille Howell affecte extérieurement (*fig.* 249) la forme d'un énorme cigare.

Les différents organes intérieurs sont distribués comme suit (*fig.* 252) :

A l'avant, le cône de charge qui renferme la charge explosive, variant de 60 à 95 kilogrammes de fulmi-coton comprimé. Le cône de charge porte à sa pointe une fusée percutante qui sert à provoquer la déflagration quand elle vient à choquer un corps résistant. Cette fusée n'est pas armée au départ par crainte d'accidents qui pourraient se produire pendant la manipulation de la torpille ; son armement ne se produit qu'une fois immergée et après un certain chemin parcouru et cela par un mécanisme automatique très simple.

La partie médiane de la torpille renferme le volant, organe

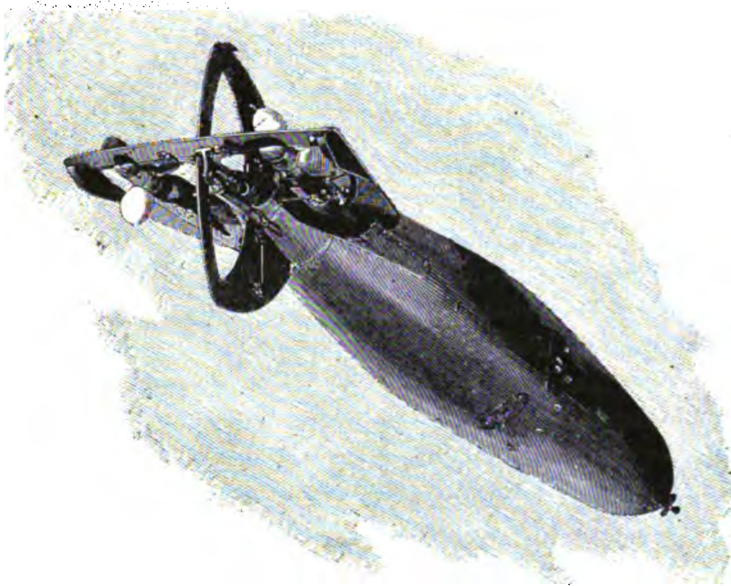


Fig. 249.

moteur général qui tourne dans un plan vertical autour d'un axe perpendiculaire à l'axe de la torpille. Le mouvement du

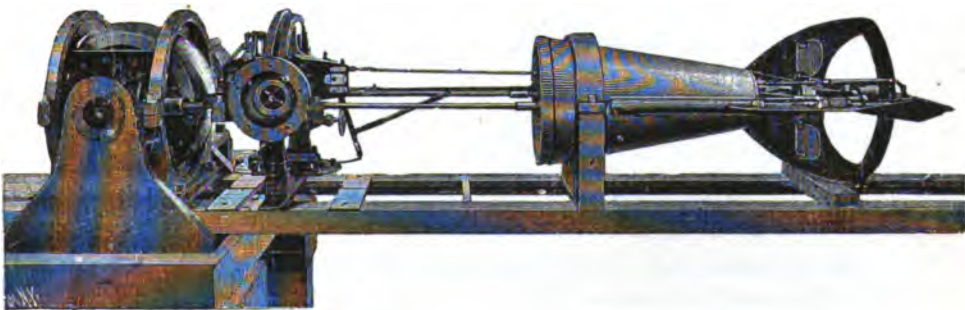


Fig. 250.
Torpille Howell, la partie A' enlevée montrant le moteur et les régulateurs.

volant se transmet aux hélices par un système de pignons calés sur les faces du volant.

Le corps arrière renferme les régulateurs d'immersion et de direction.

L'immersion s'obtient de la même façon que la Whitehead, par la combinaison d'un pendule et d'un piston hydrostatique.

Quant au régulateur de direction, il se compose d'un pendule K, fixé sur la partie supérieure de la chambre des régulateurs et oscillant dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la torpille, ce qui lui permet de subir les divers degrés d'inclinaison du roulement de la torpille sous l'influence gyroscopique du volant, provenant des forces dérivatrices.

Le pendule s'incline à droite ou à gauche de la verticale; le résultat se manifeste par une série de mouvements qui oblige le gouvernail de direction, par l'intermédiaire d'un servo-moteur, à faire revenir la torpille dans sa position verticale.

La queue de la torpille contient : le mécanisme de changement de pas des hélices et les gouvernails d'immersion et de direction.

L'objection que l'on fera sûrement à cette torpille sera que la vitesse du volant va en diminution. Dès l'instant où l'axe

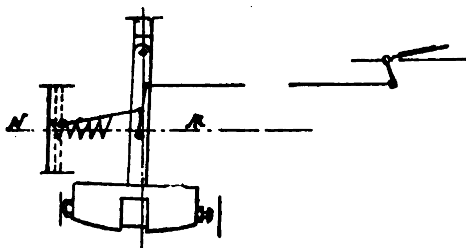


Fig. 251.

de ce volant est débrayé de l'arbre du turbo-moteur et par conséquent la force propulsive et la vitesse correspondante de la torpille vont en diminuant constamment jusqu'à devenir très faibles au moment d'agir contre le navire à torpiller.

On a remédié à cet inconvénient en faisant modifier automatiquement, au fur et à mesure que la vitesse du volant tend à

décroître, le pas des hélices propulsives ; de cette façon la vitesse du mouvement reste sensiblement constante (32 nœuds environ) pendant la durée du trajet (600 mètres environ) entre le torpilleur et le torpillé.

L'explosion de la charge de fulmi-coton produit une énorme quantité de gaz, à une température très élevée (2.400° C. environ). La bulle produit dans la masse d'eau une onde sphé-

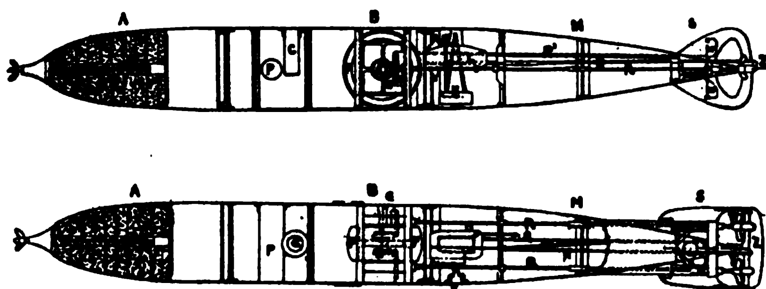


Fig 252 et 253. — Coupe longitudinale de la torpille Howell.

rique qui se propage avec une vitesse d'environ 1.500 mètres à la seconde ; la puissance destructive de cette onde décroît comme le carré de la distance ; il arrive donc un moment où elle n'est plus dangereuse, la sphère de rupture se trouvant à l'intérieur de cette zone.

En outre, la bulle de gaz, en crevant à la surface de l'eau, produit un vide dans lequel se précipitent tous les débris que la rupture a produits.

La torpille Howell, en outre de sa simplicité de construction, de sa robustesse, de sa facilité de réglage, possède d'autres avantages :

Valeur militaire de la torpille Howell

Indépendamment de la force directrice, qui est un grand avantage, même dans les lancements par le travers, le volant emmagasine une puissance de propulsion considérable dans un espace relativement faible. En effet la force de propulsion de

cette torpille varie comme *le carré des vitesses* du volant et comme la quatrième puissance de ses dimensions linéaires, en augmentant légèrement le rayon de giration du volant, on augmentera donc beaucoup l'effet utile.

La torpille Howell effectue un parcours d'environ 600 mètres à une vitesse de 32 nœuds.

Son entretien nous semble facile et son fonctionnement assuré, car son moteur est robuste et peu encombrant. La

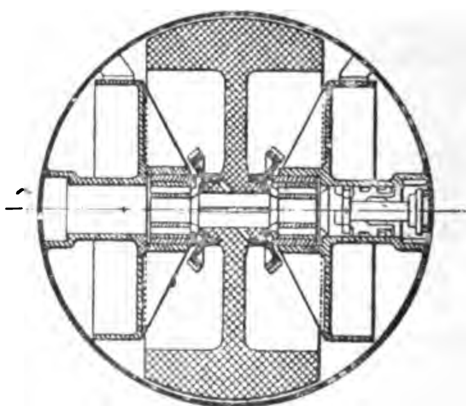


Fig. 254. — Le volant de la torpille Howell.

turbine auxiliaire nécessaire au lancement du volant est très petite par rapport aux appareils auxiliaires compliqués nécessaires aux autres systèmes, tels que les réservoirs d'air comprimé et les pompes de compression pour leur chargement.

Cette torpille vient donc trancher la question si controversée de savoir si une torpille lancée contre un bâtiment marchant à toute vitesse en avant ne sera pas écartée par les remous ni déviée de sa route.

Des constatations qui précèdent, il semble qu'on peut conclure que la torpille Howell est un engin puissant, d'une manœuvre commode et précise, et, par suite, remplissant de façon fort satisfaisante les conditions auxquelles doit être astreint un appareil de ce genre.

TORPILLES DIRIGEABLES

TORPILLE SMITH

La particularité de ce genre de torpilles est que l'on peut modifier leur trajectoire du poste de lancement pour les conduire à l'endroit voulu et provoquer ensuite la mise de feu de la charge explosible.

En 1873, M. Smith eut l'idée de construire une torpille automobile, constituée par deux corps cylindro-coniques superpo-

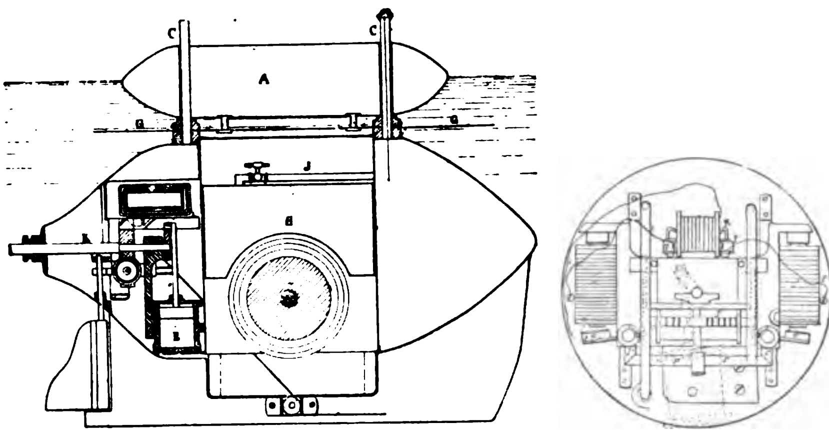


FIG. 255 et 256.

sés et reliés entre eux par deux tubes verticaux, et de donner la direction du rivage au moyen d'un fil métallique. L'idée de M. Smith a été reprise plus tard par MM. Haight et Wood, et Sims-Edison.

La torpille Smith est constituée de deux corps cylindriques de diamètres différents A et B (*fig.* 255), reliés par deux tubes verticaux *c*, *c*. Le corps cylindrique B est divisé par deux cloisons étanches en trois compartiments : Le compartiment A', ou la torpille proprement dite, est rempli de matière explosible.

Le compartiment R porte les appareils de propulsion et de timonerie, et le compartiment du milieu contient la chaudière et, en outre, un fil métallique isolé enroulé sur une bobine : c'est au moyen de ce fil que l'on établit une communication avec le rivage.

Les compartiments avant et arrière sont étanches, tandis que celui du milieu est accessible à l'eau. Le corps inférieur est trop lourd pour flotter ; il est suspendu au flotteur A, qui l'empêche de sombrer. Par les tubes C, au moyen de cordes ou de chaînes, on détermine la profondeur à laquelle la torpille doit faire explosion.

Torpille Haight et Wood

La torpille Haigt et Wood est formée, comme la torpille Smith, de deux flotteurs cylindro-coniques ayant les extrémités très effilées (*fig.* 257).

L'intérieur est divisé par des cloisons étanches en un certain nombre de chambres ou compartiments. A indique le compartiment AV, qui contient la charge de matière ou composé explosible. B est la chambre qui fait suite dans le sens de l'AR, et elle contient une pile locale, servant à faire partir la charge ; le dispositif de sûreté qui empêche l'inflammation accidentelle de la charge, les soupapes de mise en action et d'arrêt de la machine et les dispositifs électriques servant à commander les soupapes. C représente le compartiment voisin servant de chambre pour chauffer et détendre le gaz ; D est le réservoir d'emmagasinage du gaz acide carbonique liquéfié et comprimé. E représente une autre chambre de chauffage et de détente du gaz ; F est la chambre du câble formé d'un fil métallique isolé, au moyen duquel la torpille est maintenue et guidée par rapport au point à atteindre ; G est un autre compartiment qui contient la machine, le dispositif du gouvernail et l'appareil électrique pour régler les mouvements du gouvernail.

La force motrice employée est fournie par un gaz emmagasiné sous forme liquide à une grande pression dans le réser-

voir D et d'où le liquide est conduit par des tuyaux à travers les chambres de chauffage et de détente à la machine C^1 qui commande le propulseur C^2 fixé à l'arbre C^3. Un dispositif spécial sert à conduire le liquide du réservoir à la chambre de détente, afin d'empêcher la congélation.

Le liquide est transporté du réservoir D^1 par le tuyau D^2 à travers le tuyau perforé *d* à la soupape régulatrice *d'*, puis au serpentin de la chambre de chauffe et de détente C', d'où il retourne, par un tuyau qui traverse le tuyau ouvert D^4, à travers le récipient au serpentin de l'autre chambre de chauffe E', où il est de nouveau détendu sous forme gazeuse et enfin conduit dans le tuyau d'alimentation de la machine C'.

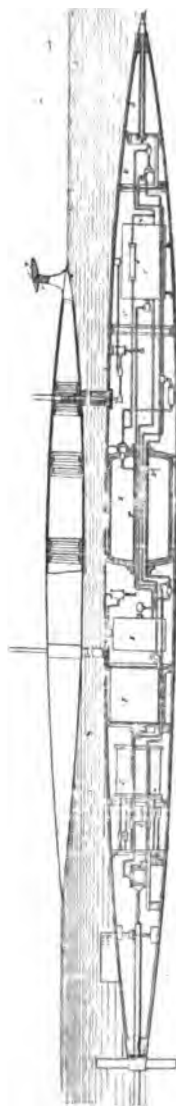


Fig. 257.

La machine est constituée par une série de cylindres groupés autour d'un arbre central creux C^3, qui porte le bloc de cames C^4, lequel est muni d'une came C^5 dans la gorge de laquelle les goupilles C^6 de chacun des pistons font saillie et portent contre les surfaces de la came, de manière que le mouvement rectiligne alternatif des divers pistons et tiges est transformé en rotation continue du bloc de cames et de l'arbre creux portant le propulseur.

G^7 représente l'un des cylindres, dont un groupe se forme de préférence en un seul cylindre venu de fonte et sont disposés autour d'un centre commun, ayant les axes parallèles.

G^8 est la tête postérieure de ce groupe de cylindres, et G^9 est la tête antérieure.

Les soupapes sont disposées de façon que la vapeur soit

prise ou aspirée des cylindres en paires qui sont diamétralement opposés l'un à l'autre et tandis que les pistons d'un côté sont en course de retour, ceux du côté opposé commencent une course d'aller

Cette machine a été étudiée en vue de son application aux torpilleurs sous-marins.

TORPILLE SIMS-EDISON

Cette torpille affecte également la forme d'un énorme cigare; elle est divisée en quatre compartiments principaux (*fig.* 258).

Le cône de charge, qui est placé à l'avant, contient 150 kilogrammes de dynamite; la mise de feu se fait électriquement

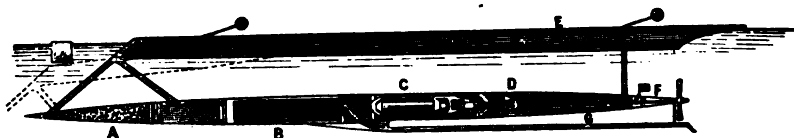


Fig. 258.

en renversant le courant. Le compartiment suivant contient le dévidoir sur lequel est enroulé le fil conducteur (1.500 à 3.000 mètres).

Ce câble sort de la torpille par un tube parallèle à son axe, et débouche en arrière et au-dessous de l'hélice; au milieu de ce câble passe un second fil pour la manœuvre du gouvernail de direction. Le câble principal est extrêmement léger et flexible ; sa section est suffisante pour transporter une énergie de 30 chevaux-vapeurs et donner ainsi à la torpille une vitesse d'environ 35 kilomètres à l'heure.

La force motrice est fournie par une dynamo génératrice du poste de lancement qui envoie le courant à un électromoteur placé dans la torpille.

Parmi les nombreux engins, inventés et construits par MM. Sims-Edison, nous citerons leur torpille dirigeable.

Au fur et à mesure que la torpille avance, la câble se déroule du dévidoir et sort par le tube. On a remarqué, dans ce genre de locomotion, que, si le dévidoir était sur le rivage, la torpille ralentirait sa marche, ralentissement occasionné par le frottement du câble, puisqu'il serait traîné dans l'eau, tandis que la torpille, portant elle-même la bobine, le travail de frottement du câble dans l'eau est ici tout à fait négligeable.

Une sorte de flotteur, ayant la forme d'un petit bateau de course, est rigidement relié à la torpille ; il est, en outre, muni de deux mâts au moyen desquels sa course peut être observée ; son avant possède deux jambes de force assez inclinés pour permettre à la torpille de plonger et éviter ainsi les ceintures flottantes, destinées à protéger les navires au mouillage (tracé en éléments).

Si on le désire, en peut remplir la coque de cellulose ou de liège, en vue de résister à la pénétration des balles.

CANON SOUS-MARIN [1]

TORPILLE ERICSSON

En 1880, le capitaine Ericsson déposa une demande de brevet d'invention pour un système de canon destiné à lancer, sous l'eau, une torpille d'un système particulier.

Ce canon était placé au-dessous de la flottaison d'un navire, qui constituait, à proprement parler, l'affût, et que l'inventeur avait nommé *Destroyer* ou *le Destructeur*.

La figure 259 représente une coupe longitudinale d'un torpilleur muni du canon Ericsson.

Le canon A est à âme lisse et est formé de plusieurs tronçons assemblés par des brides *a*, dont le dernier débouche dans l'étrave B.

La figure 260 est une coupe de l'arrière du canon : dans l'âme

[1] Extrait de *la Revue technique à l'Exposition de Chicago*.

se trouve le piston C muni d'une garniture obturatrice *f*, en D est la gargousse maintenue sur une tige de bois *g* dont l'une des extrémités repose dans une douille *h* de la gargousse D.

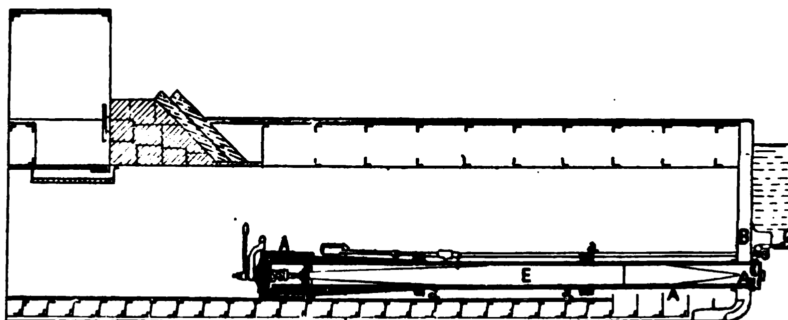


Fig. 259.

Celle-ci est en étain et de forme cylindrique. En avant du piston C se trouve le projectile B, qui occupe presque toute la longueur de l'âme (*fig.* 259).

Le mécanisme de fermeture de l'avant (*fig.* 260) comprend le

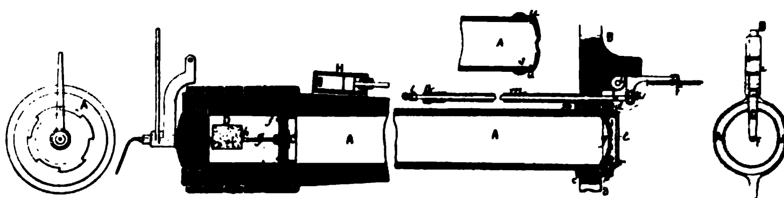


Fig. 260.

volet F qui clôt hermétiquement le sabord. Il est actionné par le levier coudé G tournant autour de l'axe *i* et commandé en H par la tringle *l*, qui passe dans l'ouverture *x* ménagée dans l'étrave et qui s'engage dans un tube *m* terminé par un presse-étoupes *n*. Le mouvement est donné à cette tringle, et par suite à la porte, à l'aide du piston logé dans le cylindre H, qui est soumis à l'action de la vapeur ou de l'eau sous pression.

En plus de cette porte F se trouve un disque I muni d'un

anneau obturateur *o* et percé d'un trou *q* fermé par une matière plastique *t*.

Ce disque est maintenu contre la poussée de l'eau par des ressorts ou crochets en acier *r*. Il est enlevé et brisé par le projectile au moment du lancement, et, jusqu'à ce moment, il s'oppose à la rentrée de l'eau à l'intérieur du canon.

Le projectile-torpille (*fig*. 262) est formé de pièces de bois assemblées *l' l* et est terminé à l'avant par un cône B portant la charge.

Le cône postérieur C est muni de quatre ailettes ou nageoires F, La partie cylindrique A est en bois et complètement pleine,

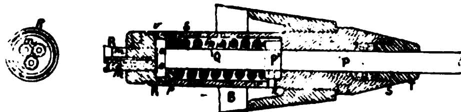


FIG. 261.

tandis que le cône C est percé, dans l'axe d'un trou cylindrique, qui reçoit une tige de fer *gg'*. Cette tige, fixée dans une garniture *h*, sert à maintenir la torpille rigide; de plus, un manchon en fer *f* réunit solidement le cône C et le cylindre A à l'aide de vis *i*, *j*, *k*.

La densité générale du projectile chargé est un peu plus faible que celle de l'eau.

Une sorte de fusée S, vissée en *n* à l'extrémité du projectile, pénètre dans la chambre B, qui renferme la charge explosible. Le percuteur P, qui fait saillie sur la fusée, est repoussé par un fort ressort Q, qui agit sur un épaulement P; le bouchon R renferme deux ou plusieurs amorces fulminantes *m*, logées dans des canaux qui débouchent dans la chambre d'explosion. Une vis *v* règle la position du percuteur et s'oppose à tout déplacement de celui-ci, qui porte des saillies ou pointes O, lesquelles se trouvent en regard d'un nombre correspondant d'amorces (*fig*. 261).

Le ressort Q sert à empêcher qu'un choc de faible intensité

ne mette le feu à la torpille. Cette sécurité doit, à notre avis, être considérée comme tout à fait insuffisante.

Le canon et le projectile ont été essayés par une Commission officielle qui s'assura, en même temps, que les qualités du bâtiment permettaient de considérer cette nouvelle combinaison comme pouvant donner des résultats sérieux au double point de vue de l'attaque et de la défense.

Les essais ne furent pas aussi concluants qu'on était en droit de l'espérer ; mais il faut dire que la Commission s'opposa, pour la raison suivante, à ce qu'une torpille fût lancée : « Le navire, le canon et le projectile appartenant à un simple particulier, on ne pouvait accorder à celui-ci le droit de faire des expériences avec des armes de guerre qui, en cas d'accident, auraient mis en péril la vie humaine. »

Cependant il y a lieu de retenir la conclusion du rapport, qui était la suivante :

« Bien que les expériences exécutées devant la Commission aient été très incomplètes, elles ont suffi pour la convaincre que la torpille sous-marine Ericsson est un projectile formidable aux petites distances, et que, dans la limite des portées restreintes, elle est supérieure à toutes les torpilles automobiles.

« L'inventeur ne se découragea pas : il reprit ses expériences, qui durèrent quatre mois, et dont les résultats furent très satisfaisants.

« Il continua néanmoins ses études sur les projectiles sous-marins, et, en 1890, il prit un brevet relatif à des dispositions nouvelles de canons et de projectiles sous-marins.

« Les figures 263 et 264 représentent la torpille qui est formée, comme toutes celles examinées ci-dessus, d'une enveloppe métallique à cinq compartiments.

« Le premier renferme la charge.

« Le compartiment suivant renferme les régulateurs.

« Les compartiments A^3 et A^4 constituent le flotteur arrière, et A^5 sert de logement à une charge de poudre supplémentaire destinée à augmenter la portée du projectile : il porte de plus les gouvernails B.

« Ces derniers sont placés de chaque côté du projectile sur un axe *d*, qui reçoit son mouvement du régulateur C par l'intermédiaire d'un câble *p*. Ces gouvernails ne devant avoir d'action que dans le plan horizontal, il importait d'empêcher la tor-

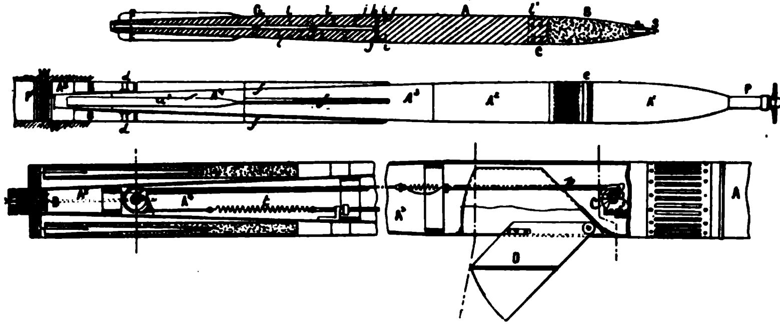


Fig. 262, 263 et 264.

pille de rouler : une plaque centrale D (*fig*. 264), pouvant se loger dans une cavité spéciale *d*, tourne autour d'un axe et forme une saillie très importante, qui s'oppose à la rotation du projectile, lorsqu'il est sorti du canon.

« Le régulateur C (*fig*. 265 et 266), destiné à ramener les

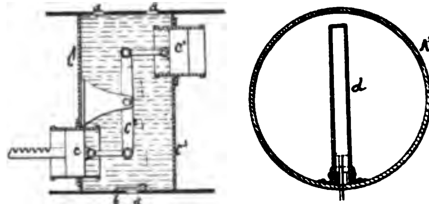


Fig. 265 et 266.

gouvernails dans un plan sensiblement horizontal, consiste principalement en un cylindre hydraulique, dans lequel peuvent se déplacer librement deux pistons étanches *c* et *c'*, munis chacun de deux crémaillères *hh* et *h'h'*, disposées diagonalement et engrenant avec deux pignons *g*, fous sur l'axe commun.

« L'espace libre entre les pistons est en communication avec l'eau par l'intermédiaire d'une partie A de l'enveloppe, découpée, suivant l'axe longitudinal, de manière à permettre au liquide de pénétrer de tous les côtés dans l'espace annulaire *a'*. Des orifices tels que *b* conduisent l'eau jusqu'aux pistons.

« La pression exercée sur l'un des pistons s'ajoute à celle que supporte l'autre, et ce dispositif remplace, par conséquent, un piston simple d'une section double.

« Le piston arrière est muni d'une seconde crémaillère *c*, qui

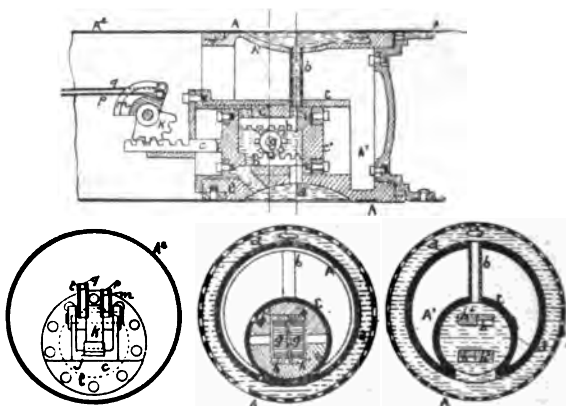


FIG. 267, 268, 269 et 270.

engrène avec un secteur denté K, muni de deux parties de poulies *l* et *m*, sur lesquelles s'enroulent les câbles destinés à la manœuvre du gouvernail.

« Cette disposition pourrait être remplacée par celle qui est représentée sur la figure 265, où les deux pistons *c* et *c'* agissent sur un levier articulé au milieu.

« En se rapportant aux figures 263 et 264, on voit que la position horizontale des gouvernails dépend, d'une part, de la hauteur d'eau et, d'autre part, de l'action du ressort *t*; il en résulte que l'on peut très facilement régler la profondeur à laquelle devra marcher la torpille.

« L'emploi de deux pistons se déplaçant en sens contraire est

destiné à s'opposer au mouvement du régulateur et, par suite, du gouvernail, sous l'action seule du lancement.

« Cette torpille peut être utilisée comme projectile aérien. A cet effet le canon lance-torpilles, au lieu d'être placé dans le fond du navire, est installé sur le pont, et le lancement s'effectue exactement de la même façon. On règle le point de chute à 100 mètres environ du but à atteindre, et la torpille, après avoir parcouru la majeure partie de sa trajectoire dans l'air, la termine dans l'eau pour aller frapper, à une profondeur déterminée, le navire sur lequel elle a été lancée. »

*
* *

Nous croyons que cette dernière application donnera certainement de meilleurs résultats qu'un projectile sous-marin. Du reste, par ce qui précède et par les nouvelles dispositions prises par l'inventeur, qui a transformé complètement son appareil jusqu'à en faire une véritable torpille, nous en concluons que les expériences sont loin d'avoir été satisfaisantes.

Sans vouloir décourager pour cela l'inventeur, lequel a beaucoup de mérite, nous estimons que son nouvel appareil ne donnera pas de meilleurs résultats. Le projectile ne possédant en lui-même aucune source de force motrice; les forces mises en jeu (10 kilogrammes au maximum) dans son régulateur par la pression de l'eau, seront insuffisantes pour manœuvrer les gouvernails horizontaux ; ces derniers ayant besoin, pour vaincre la résistance de l'eau, d'un effort moteur d'au moins environ 50 kilogrammes, pour les faire passer au-dessus ou au-dessous du cadre.

Par suite de l'état de perfectionnement du matériel de guerre et l'usage des canons à longue portée, l'application de ces sortes d'engins ne nous semble pas d'une grande utilité.

TORPILLES AÉRIENNES

TORPILLES PROJETÉES; OBUS-TORPILLES

Pour cette dernière partie d'un chapitre consacré aux torpilles et engins analogues, c'est encore la Marine des Etats-Unis d'Amérique qui va nous fournir un type nouveau de

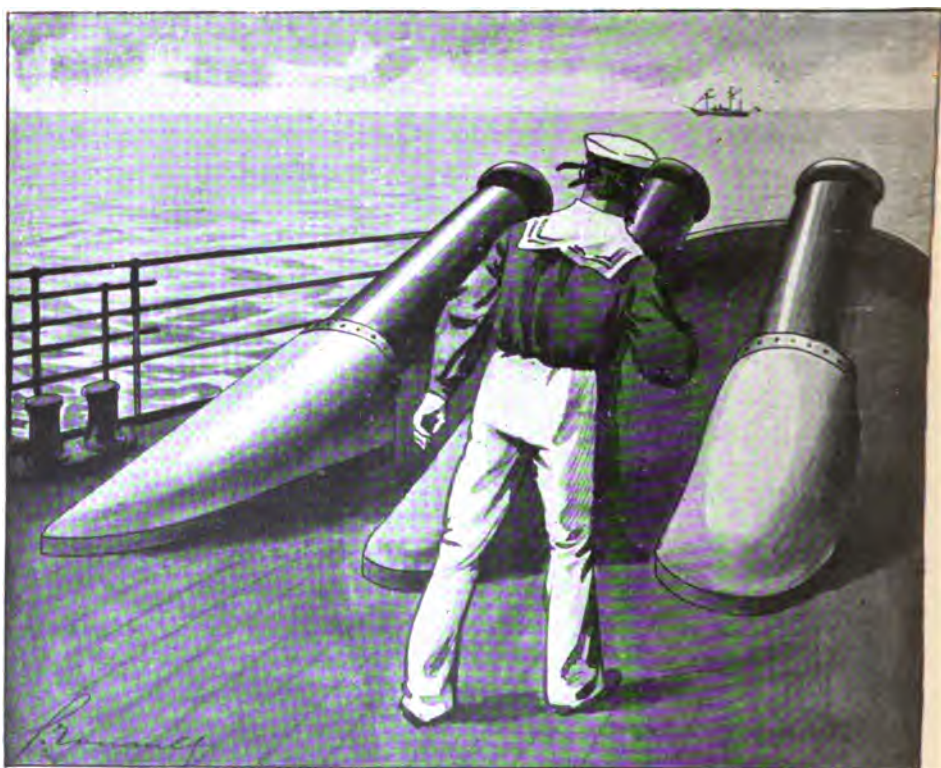


Fig. 271. — Canons du croiseur *Vesuvius*.

croiseur armé de canons lançant des obus-torpilles chargés de dynamite : c'est le croiseur *Vesuvius*[1] et le sous-marin *le Holland*.

[1] Le *Vesuvius* est armé de trois canons à dynamite placés à l'avant, parallèlement à l'axe du navire. On a adopté cette disposition pour annuler l'influence du roulis (*fig.* 271).

Les projectiles lancés par les canons pneumatiques de ces bateaux sont des obus-torpilles, chargés à la dynamite, dont l'invention est due à M. Zalinsky, capitaine au 5e régiment d'artillerie.

Il y fut conduit en 1884, lorsqu'il étudiait une invention de M. Nefford pour le lancement des obus à l'air comprimé. Il perfectionna si bien le système de M. Nefford qu'il en fit une invention originale.

Le Holland, ainsi que nous le verrons dans le cours de cet ouvrage, indépendamment de ses torpilles automobiles, qui n'ont qu'une faible vitesse initiale relativement à des projectiles, lance en l'air à grande vitesse des obus-torpilles, lesquels sont susceptibles d'atteindre une portée bien supérieure à celle des torpilles.

Obus-torpilles Zalinski[1]

L'obus-torpille Zalinsky est très léger. Il est en bronze ou acier doux avec une tête pleine, qui place près de l'avant le centre de gravité. Il pèse, tout chargé, 680 kilogrammes; il a une longueur de $2^{m},13$, sur un diamètre maximum de 374 millimètres.

Il contient une charge de 270 kilogrammes de galette explosible, qui correspond à 385 kilogrammes de dynamite ordinaire, ou à 405 kilogrammes de coton-poudre.

On peut, comme dans le cas d'une torpille immobile, y distinguer trois parties : la tête originale, le corps cylindrique, la queue, qui sont solidement liés entre elles.

Dans la tête originale se trouvent les appareils de mise de feu, qui sont de deux sortes. Le premier est un percuteur provoquant l'explosion au choc du projectile sur le but; le deuxième doit produire l'explosion de l'obus-torpille à une profondeur de 6 à 7 mètres au-dessous de l'eau, quand il ne rencontre pas le but.

[1] La portée du canon dynamite du *Vesuvius* est d'environ 3.500 mètres, et sa précision est satisfaisante.

Ces deux détonateurs sont électriques et absolument distincts l'un de l'autre (*fig.* 272).

Les piles sont au chlorure d'argent, disposées en petites batteries et sur des circuits séparés.

Les piles du détonateur sont toujours humides, et le percuteur, au moment du choc, ferme immédiatement le circuit, ce qui provoque l'inflammation de la torpille.

Les piles d'explosion sous l'eau sont sèches et, par conséquente non amorcées ; mais le circuit est fermé. Si donc le pro-

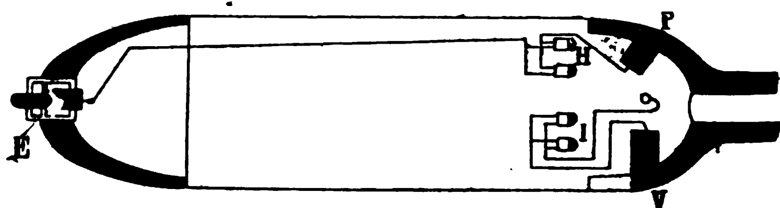


Fig. 272. — Détails de l'obus-torpille Zalinski.

jectile tombe à la mer sans rencontrer d'obstacle solide, les piles du second circuit se mouillent d'eau de mer, qui s'infiltre à travers son lainage, et l'obus éclate sous l'influence du courant produit.

Les effets destructeurs du projectile, éclatant sous l'eau à proximité du but, sont presque aussi dangereux que ceux provenant du choc direct. La gerbe d'eau soulevée, dans ce cas, déplace 10 mètres en longueur et en largeur.

On sait que l'on appelle potentiel d'une substance explosive le travail fourni par 1 kilogramme de ce corps ; en supposant que, par suite d'une détente infinie, la température des gaz produits s'abaisse au maximum à 0°, sans qu'il y ait de calorique perdu par rayonnement ou par effet mécanique extérieur, M. Sarrau a donné, pour potentiel du coton poudre, 489 tonneaux-mètres : nous avons pour potentiel d'un obus Zalinski :

$$489 \times 405 = 198.045 \text{ tonneaux-mètres.}$$

L'obus-torpille se termine par une queue hélicoïdale, qui assure la direction et la rotation de l'obus.

Toutes les manœuvres de pointage et de lancement se font au moyen de l'air comprimé à la pression de 76 kilogrammes par centimètre carré, dans des réservoirs au-dessous du tube de lancement.

L'admission de l'air comprimé a lieu par l'intermédiaire d'une valve qui en règle la pression et qui se ferme automatiquement, lorsque le culot du projectile a franchi la tranche de la bouche.

Voici, d'après un rapport officiel, les résultats d'expériences faites pendant la récente guerre hispano-américaine, en vue de Santiago-de-Cuba :

« Depuis longtemps le lieutenant Pilsburg, qui commande ce singulier navire, était désireux d'essayer l'effet de ses canons sur les fortifications de Santiago. Il choisit, pour cette expérience, un fort isolé placé sur une colline à l'ouest de l'entrée du port et dont les canons de la flotte n'avaient pu éteindre le feu.

« A la faveur du crépuscule, il s'avança à une distance d'un demi-mille, pendant que les projecteurs électriques de l'*Oregon* inondaient le but de lumière. Trois obus, un par chaque pièce, furent lancés successivement. Chacun contenait 200 livres de dynamite. Les engins pneumatiques du petit croiseur accomplirent leur œuvre silencieusement : pas de lueur, pas de bruit, pas de fumée.

« Le premier projectile éclata sur le flanc de la colline au-dessous de la batterie, le second, à côté des positions espagnoles, et le troisième, sur le sommet même de la colline. *Le Vesuvius* se retira ensuite, poursuivi par quelques obus que lui lancèrent les Espagnols.

« Quelques secondes après que le premier canon du *Vesuvius* eut envoyé son projectile, une explosion formidable se faisait entendre sur le point où les défenses espagnoles avaient jusque-là résisté aux projectiles ordinaires. Des tonnes de roc et de terre étaient lancées dans les airs ; la mer semblait trembler

sous cet effroyable ébranlement, et un immense nuage de poussière cachait cette scène de destruction.

« Un silence, puis une nouvelle et terrible explosion, suivie d'une troisième, avec une telle rapidité que les deux détonations semblaient se confondre. On ne sait pas exactement quels dommages ont été causés aux défenses espagnoles ; mais les effets destructeurs des canons à dynamite ont été complètement établis par cette expérience, qui a vivement impressionné tous les officiers de la flotte. »

On comprend aisément, par ce rapide aperçu, que le Gouvernement américain, qui savait que tôt ou tard le port de Santiago tomberait en son pouvoir, avait intérêt à ne pas réduire cette ville en poussière par un bombardement général au moyen de ce nouvel engin.

Canon pneumatique allemand

Nous signalerons également le canon construit et étudié récemment en Allemagne, sur les données d'un capitaine de corvette, détaché à l'état-major général, section balistique.

C'est un canon de $0^m,30$ de calibre, long de $22^m,50$. Le tir, effectué sur un vieux bâtiment mouillé à 1.900 mètres, fut réglé avec trois obus non chargés. Le projectile chargé s'immergea assez près du but et éclata après une immersion de deux secondes environ. Une énorme gerbe d'eau fut soulevée, et le navire visé fut fort endommagé ; un deuxième coup le mit absolument en pièces.

Le Gouvernement allemand, devant ces résultats, vient de commander au chantier de Stettin un navire-canon, armé d'un canon pneumatique de $0^m,30$, qui tirera un obus chargé de 180 kilogrammes de gélatine explosive et de deux canons de $0^m,27$, dont les obus contiendront $90^{kg},5$ de nitro-gélatine. Chaque canon sera servi par un seul homme, l'adduction du projectile étant automatique.

On compte trouver là un engin utile pour l'attaque des ports, en ce sens que ces projectiles pourront aller éclater assez pro-

fondément sous l'eau pour détruire le torpillage fixe d'un port ou d'une passe.

De l'accouplement des ballons avec les navires d'un blocus pour permettre de voir l'approche d'un sous-marin

Il a été beaucoup question, ces temps derniers, de l'accouplement des ballons avec un des navires d'une escadre de blocus, de façon à distinguer au sein de l'eau le torpilleur sous-marin qui manœuvre pour attaquer un des navires.

Des expériences ayant été faites à ce sujet, nous citerons les observations que fit un officier qui a pris part aux manœuvres de Toulon, d'Hyères et de Marseille. Voici quelle a été la réponse :

« Ce point a été, comme tous les autres, élucidé. Justement l'escadre de la Méditerranée possède un ballon captif, et nous nous en sommes servis pour nous rendre compte de l'utilité qu'un pareil moyen d'investigation pourrait présenter. Les résultats des expériences faites ont donné des renseignements formels et précis, qui peuvent se résumer de la manière suivante :

« On pouvait en effet, de la nacelle du ballon, apercevoir *le Gustave-Zédé*, à la condition toutefois que celui-ci ne fût pas à une profondeur de plus de 6 mètres, et que le cône de vision dont l'observation occupait le sommet n'eût pas une ouverture de plus de 10°.

« Encore faut-il faire remarquer que le petit navire était alors peint en blanc et transparaissait aisément, sous cette teinte à travers la couche liquide. Nous avons fait alors des essais de peinture. Nous avons transformé sa robe ; nous l'avons habillé en bleu gris, et, dès ce moment, on ne l'a plus distingué sous les vagues que lorsqu'il était à 2 mètres de la surface.

« Quant à atteindre le sous-marin au moyen de l'artillerie, c'est chose impossible ; pour deux motifs : d'abord une cuirasse d'eau de 2 mètres d'épaisseur est suffisante pour amortir les

coups les plus violents que l'on puisse imaginer et pour faire dévier les obus des plus grosses pièces ; et puis je vous ferai remarquer que le sous-marin, quand il pénétrera dans le cône de vision dont je vous parlais tout à l'heure, aura pu, depuis longtemps déjà, torpiller le cuirassé que le ballon sera censé protéger.

Lance-Torpilles sous-marins de M. Drzéwiécki

A bord des torpilleurs et des autres bateaux de guerre, pour le lancement des torpilles automobiles, on se sert de *tubes lance-torpilles*, véritables canons qui, au moyen de l'air comprimé ou d'une petite charge de poudre, lancent la torpille dans l'eau, où elle continue sa trajectoire dans la direction déterminée, mue par ses propres hélices. Les tubes peuvent être fixes ou orientables : dans le premier cas, ils se trouvent placés dans le plan diamétral du bateau en avant ou en arrière, et alors c'est avec le bateau que l'on vise ; dans le second cas, ils se trouvent soit sur le pont du torpilleur, soit dans la batterie des grands bateaux ; au moment du tir, on oriente le tube dans la direction donnée et on vise comme avec un canon. La marche du bateau, qui n'a aucune influence sur les appareils placés dans le plan diamétral, influe au contraire beaucoup sur les appareils tirant par le travers, car la torpille participe au mouvement du bateau, et si, en tombant, elle touche l'eau par la pointe ou par la queue, elle est immédiatement déviée vers l'avant ou l'arrière ; aussi n'est-on jamais assuré de la justesse du tir avec un appareil de ce genre, surtout si la mer est agitée. En outre tous ces appareils placés au-dessus de l'eau ont l'inconvénient très grave d'exposer la torpille au feu de l'ennemi, et le moindre projectile qui viendrait frapper le réservoir d'air comprimé de la torpille suffirait pour la faire éclater. Pour obvier à ces inconvénients, on a cherché à abriter la torpille en la mettant au-dessous de la flottaison, et en la faisant partir au moyen de tubes sous-marins. Les tubes sous-marins, placés dans l'axe du bateau, donnent des résultats

assez satisfaisants; mais ils ont l'inconvénient de compliquer la manœuvre; car, pour tirer, il faut orienter le bateau lui-même dans la direction de l'ennemi et virer de bord une fois la torpille lancée. Les tubes latéraux donnent la possibilité de lancer la torpille sans mettre le cap sur l'ennemi; mais, en revanche, ils ont le défaut d'exiger une certaine solidité et d'être très encombrants; on comprend, en effet, que la torpille, surtout transversalement de la coque d'un bateau dans l'eau, éprouvera de la part de cette eau une très grande poussée latérale qui serait capable de casser la torpille; pour protéger cette dernière, on fait sortir du tube un écran qui masque la torpille du côté de la poussée et qui rentre dans le tube dès que la torpille s'est séparée du bateau; il est évident que cet écran devra être excessivement puissant pour résister à la pression de l'eau, surtout lorsque la vitesse du bateau est un peu considérable. Aussi l'emploi de ces tubes sous-marins n'est pas possible à bord des torpilleurs et des bateaux sous-marins.

Pour permettre le lancement des torpilles latéralement sur les petits bateaux, M. Drzéwiécki a imaginé un appareil très simple, qui, aux essais, a donné des résultats tellement satisfaisants qu'il a été adopté par le Ministère de la Marine pour l'armement des sous-marins.

Dans sa forme première, l'appareil de M. Drzéwiécki consistait en une légère poutrelle oscillant dans un plan horizontal autour d'un pivot fixé à la partie arrière et assujettie au bordé du bateau au-dessous de la flottaison. La poutrelle collée contre le flanc du bateau pouvait, à un moment donné, osciller autour de son pivot et opérer une gyration de 180°, jusqu'à venir s'appliquer contre le bord, derrière le point d'oscillation. La torpille était solidarisée avec la poutrelle, au moyen de deux griffes qui la saisissaient vers les deux bouts du réservoir d'air, de sorte que la torpille à son poste était accolée contre la poutrelle, et était forcée de participer à son mouvement. La poutrelle avec sa torpille était logée dans une niche intérieure pratiquée dans le bordé du bateau, au-dessous de la

flottaison. Au moment du tir, on repoussait la poutrelle hors de sa niche au moyen d'un levier de chasse, manœuvré à l'intérieur; dès que la partie avant de la poutrelle avec sa torpille s'écartait du bateau, la résistance de l'eau, due à la

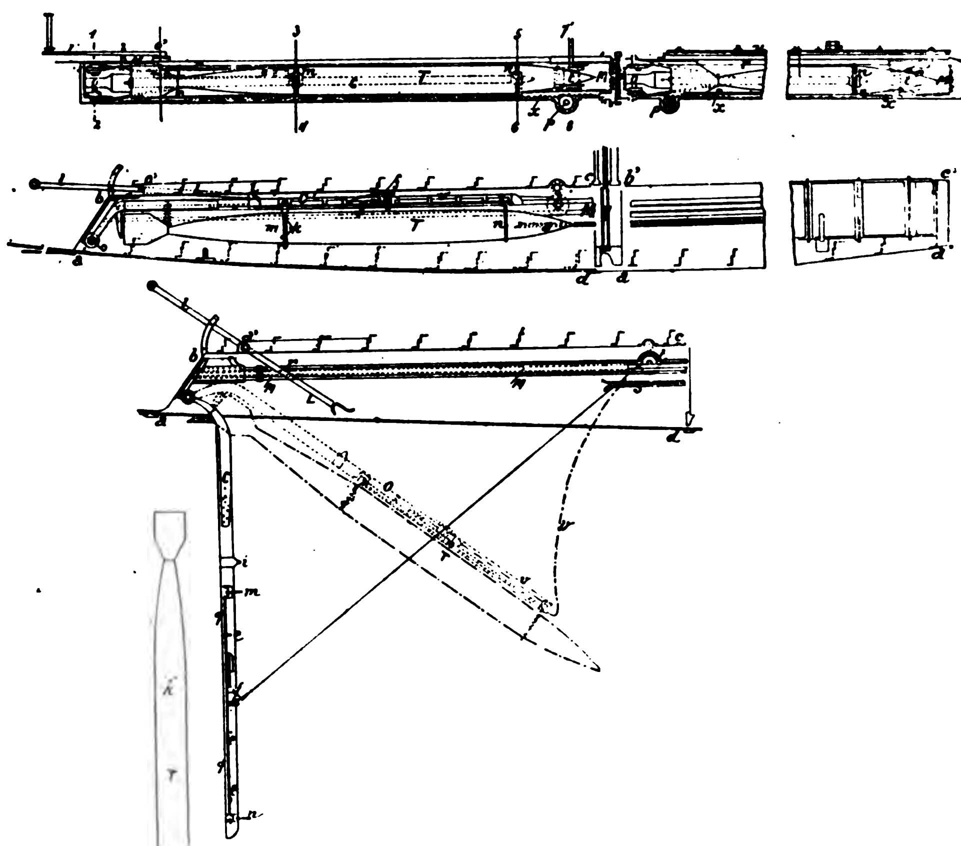


Fig. 273, 274 et 275.

marche du bateau, tendait à rabattre la poutrelle vers l'arrière, en la faisant osciller autour de son pivot arrière; la poutrelle opérait sa gyration jusqu'au moment où elle était accotée par une aussière de longueur déterminée, dont l'une des extrémités était fixée à la coque du bateau et l'autre à un anneau porté par la poutrelle; la tension de l'aussière sur l'anneau avait

pour effet d'ouvrir brusquement les deux griffes, qui maintenaient la torpille prisonnière contre la poutrelle, et en même temps de rabattre le levier de prise d'air de la torpille. De sorte qu'au moment de l'arrêt de la poutrelle, dans une position déterminée par la longueur de l'aussière, la torpille s'affranchissait en se mettant en mouvement dans la direction donnée, et la résistance latérale de l'eau ne s'exerçait jamais sur la torpille, mais uniquement sur la poutrelle seule. L'extrémité de l'aussière fixée au bateau s'enroulait sur un tambour de treuil manœuvré de l'intérieur, ce qui permettait

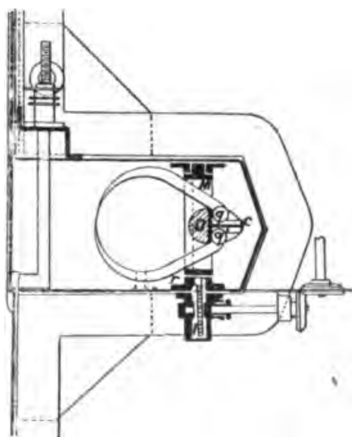


Fig. 276.

de ramener la poutrelle dans sa niche après le tir. La niche extérieure communiquait avec l'intérieur du bateau par une vanne étanche placée dans la paroi d'une des extrémités de la niche ; cette vanne donnait accès à un sas intérieur muni d'une porte étanche. La porte étanche fermée, on ouvrait la vanne et on faisait rentrer la poutrelle dans le sas intérieur, puis on refermait la vanne, on vidait l'eau du sas et on poussait la porte étanche pour pouvoir remettre une nouvelle torpille dans l'appareil. Les figures 273, 274, 275 et 276 représentent schématiquement l'appareil en question.

Un appareil de ce système a été essayé avec succès à bord du croiseur *le Surcouf*. Depuis, M. Drzéwiécki a perfectionné son idée première en simplifiant considérablement ses lance-torpilles, ce qui lui a donné la possibilité de les appliquer avec succès sur les petits bateaux, tels que torpilleurs, submersibles et sous-marins.

Dans le nouvel appareil de M. Drzéwiécki, la poutrelle a été supprimée; la torpille elle-même sert de poutrelle de rabattement; elle est maintenue par un bras mobile, dont l'extrémité arrière oscille autour d'un axe vertical et l'extrémité avant se termine par un pal qui pénètre dans la queue de la torpille, maintenue par une pince qui emprisonne l'aileron vertical de la queue, de sorte que la torpille constitue, pour ainsi dire, un prolongement rigide du bras mobile et se trouve dans l'obligation d'opérer la gyration autour de l'axe vertical du bras mobile. La torpille, accolée contre le flanc du bateau, se trouve, au moment du tir, repoussée latéralement par un ou plusieurs leviers de chasse actionnés par l'air comprimé; elle pivote alors vers l'arrière, autour de l'axe vertical du bras mobile, grâce à la résistance de l'eau, et au moment où elle passe dans le plan de visée de l'appareil que l'on dirige vers le but à atteindre, un déclenchement automatique affranchit la torpille et rabat en même temps son levier de prise d'air; alors la torpille part dans la direction dans laquelle elle se trouvait au moment du déclenchement, c'est-à-dire dans la direction de visée.

En raison de la nouveauté et de l'importance de cet appareil, nous en donnons une description complète.

Le lance-torpilles proprement dit se compose essentiellement : d'un cadre métallique, dans lequel se trouve arrimée longitudinalement la torpille d'un bras mobile dont l'extrémité avant pénètre dans la queue de la torpille, tandis que l'extrémité arrière pivote autour d'un axe vertical disposé à l'arrière du cadre, et d'un système de leviers de chasse actionnés par l'air comprimé. Cet ensemble, qui constitue le lance-torpilles, est descendu du bateau sous l'eau au moyen d'un des dispositifs

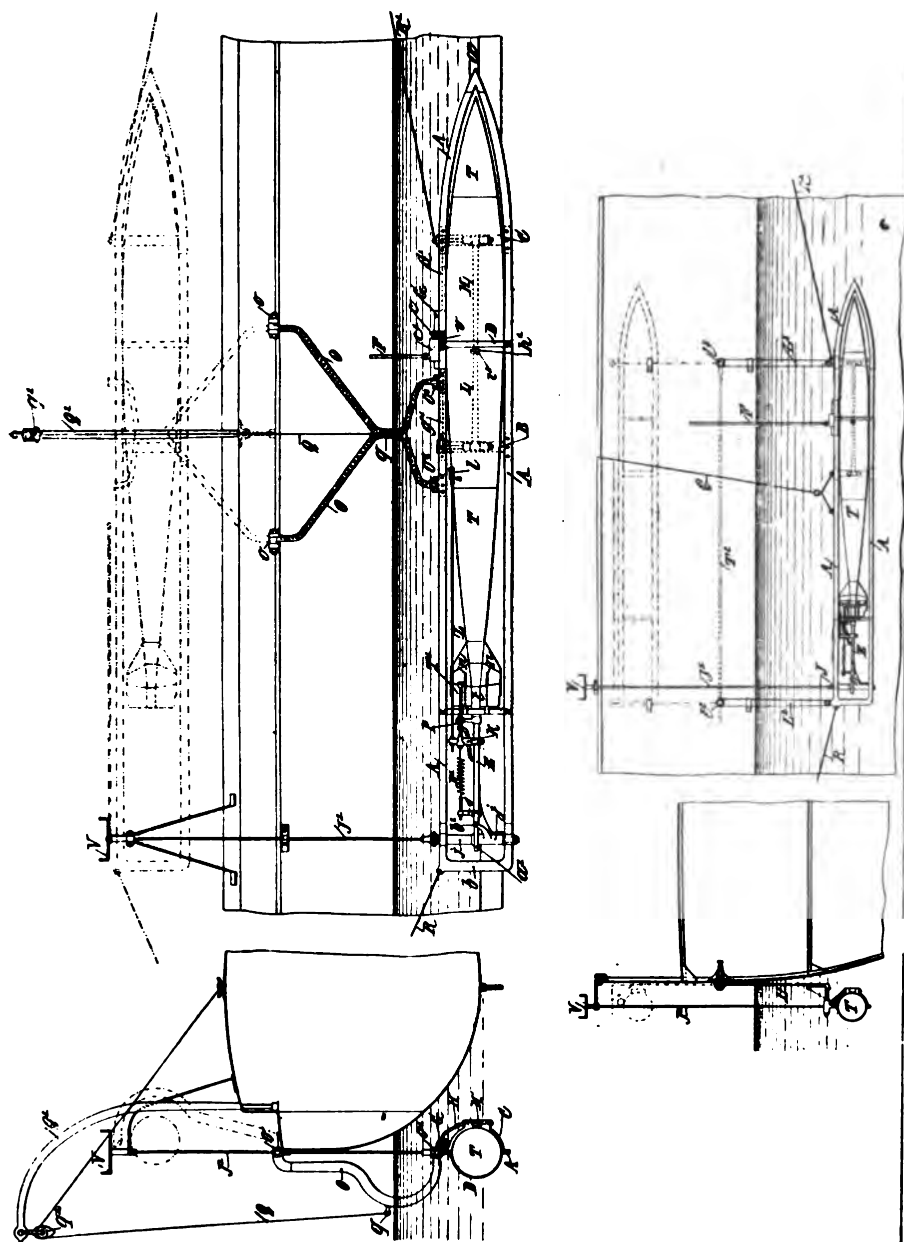


Fig. 277, 278, 279 et 280. — Lance-torpilles de M. Drzewiecki.

de mouillage décrits ci-dessous et est maintenu parallèlement au plan diamétral du navire, la pointe dirigée vers l'avant. Au moment du tir, par l'introduction de l'air comprimé, les leviers de chasse repoussent latéralement, vers l'extérieur, la torpille empalée sur le bras mobile ; cette torpille, sous l'action de la résistance de l'eau rencontrée pendant la marche du navire, est rabattue vers l'arrière en pivotant autour de l'axe de rotation du bras mobile, jusqu'au moment où, parvenue dans la ligne de visée, elle se trouve affranchie du bras mobile par un mécanisme automatique qui, simultanément, rabat le levier de prise d'air de la torpille, ce qui fait partir cette dernière, sous l'action de ses propres hélices, dans la direction voulue. Le choix de l'appareil de mouillage dépend du type de bateau sur lequel on installe le lance-torpilles ; cet appareil peut être extérieur ou intérieur, dans ce dernier cas, il consiste en un tube sous navire spécial.

Les figures 277 et 278 sont respectivement l'élévation latérale et la coupe transversale d'un fragment de torpilleur pourvu d'un lance-torpilles et du mode de mouillage auquel M. Drzéwiécki donne la préférence.

Les figures 281 et 282 sont l'élévation latérale et le plan du lance-torpilles proprement dit.

Les figures 283 et 284 sont des coupes transversales faites suivant les lignes 6-6 et 7-7 de la figure 285.

La figure 285 est un plan analogue à celui de la figure 284, mais dans lequel une torpille est représentée au moment où elle va quitter le lance-torpilles.

Les figures 286, 287 et 288 représentent, respectivement en élévation latérale, plan et coupe transversale, une variante du mode de mouillage représenté dans les figures 277 et 278.

Les figures 279 et 280 représentent l'élévation et la vue de côté d'une autre variante du mode de mouillage.

La figure 289 est l'élévation longitudinale du dispositif d'ensemble d'un tube de lancement situé au-dessous de la ligne de flottaison et agencé de façon à recevoir le lance-torpilles et à le mouiller pour le lancement de la torpille.

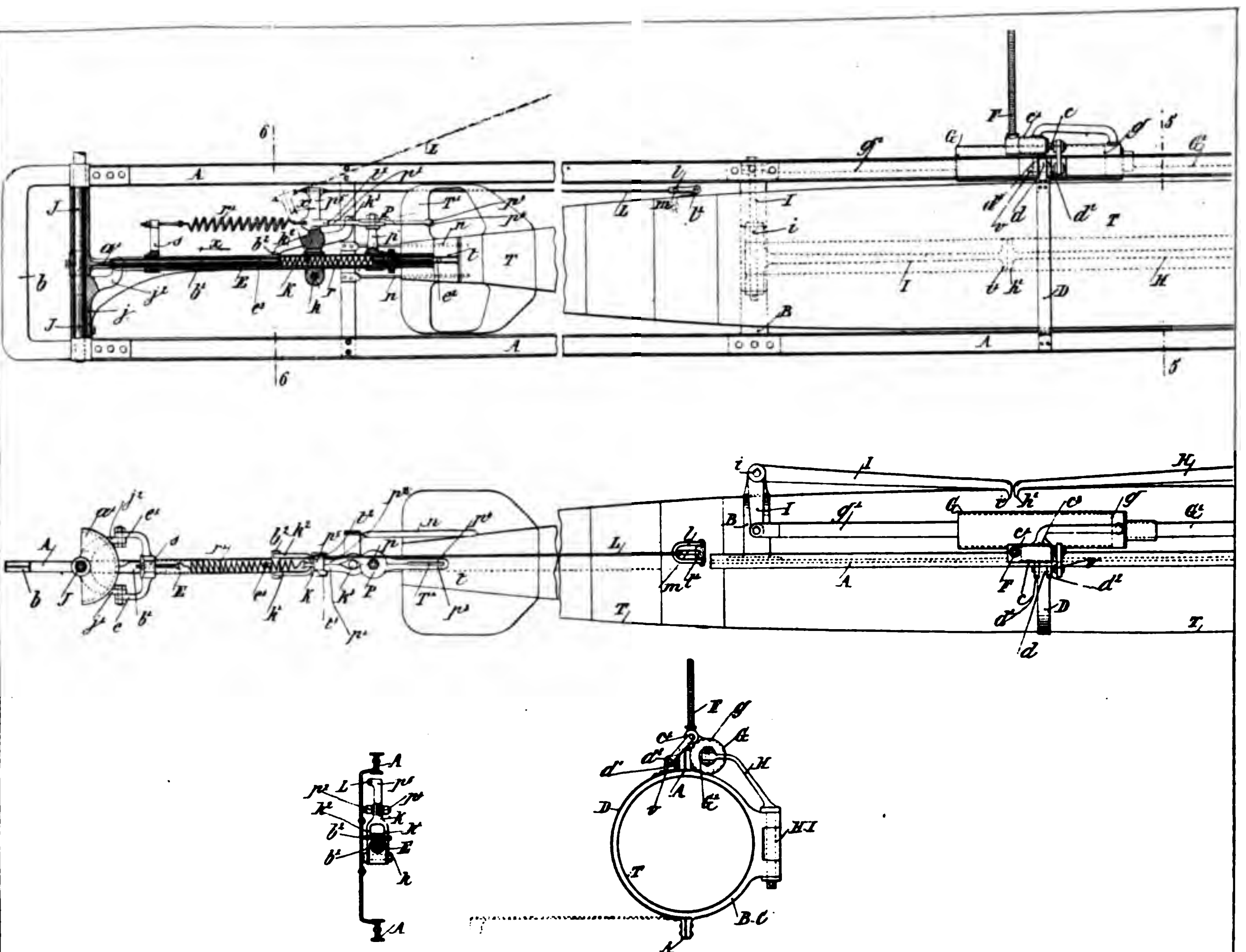


Fig. 281, 282, 283 et 284. — Lance torpilles de M. Drzéwiecki.

Les figures 290 et 291 montrent, en élévation latérale et en plan et à plus grande échelle, le tube de lancement proprement dit.

Les figures 292, 293 et 294 sont des coupes transversales respectivement faites suivant les lignes 16-16, 17-17 et 18-18 de la figure 291.

La figure 295 est un plan analogue à celui de la figure 291, mais dans lequel une torpille est représentée au moment où elle va quitter le lance-torpilles.

La torpille à lancer, T, est installée ou arrimée (*fig.* 277, 278, 281 et 282) dans un cadre métallique A, dont l'une des extrémités, celle avant, se termine en pointe *a*, tandis que l'extrémité opposée, celle arrière, est formée d'une partie droite *b*.

La torpille T est maintenue dans ce cadre A, qui lui sert de logement, au moyen de deux demi-colliers fixes B et C, reliant d'un même côté les deux membrures horizontales dudit cadre, et d'un demi-collier mobile D, reliant, du côté opposé, lesdites membrures entre les demi-colliers fixes, B et C situés, à peu près en regard des extrémités du réservoir dans ladite torpille T.

Les demi-colliers fixes B et C sont rigides, et, ainsi que l'indique leur nom, sont assujettis au cadre A à poste fixe ; ils sont situés, lorsque le lance-torpilles est en place pour le lancement, du côté du bateau qui porte ledit appareil. Le demi-collier mobile D, situé du côté opposé, c'est-à-dire vers l'extérieur, est, au contraire, formé d'une lame d'acier mince et flexible dont l'extrémité inférieure est fixée à la membrure inférieure du cadre A, tandis que son extrémité supérieure, munie d'un œillet *d*, s'engage entre deux œillets semblables d^1, d^2, fixés à ladite membrure supérieure. Un goujon ou verrou *v* traverse ces trois œillets *d*, d^1, d^2, de façon à maintenir en place le demi-collier D et, par suite, à immobiliser la torpille T, qui se trouve ainsi solidement maintenue dans le cadre A par les trois demi-colliers B, C et D, en même temps que, d'autre part, sa queue *t* ou bout d'arbre creux qui la

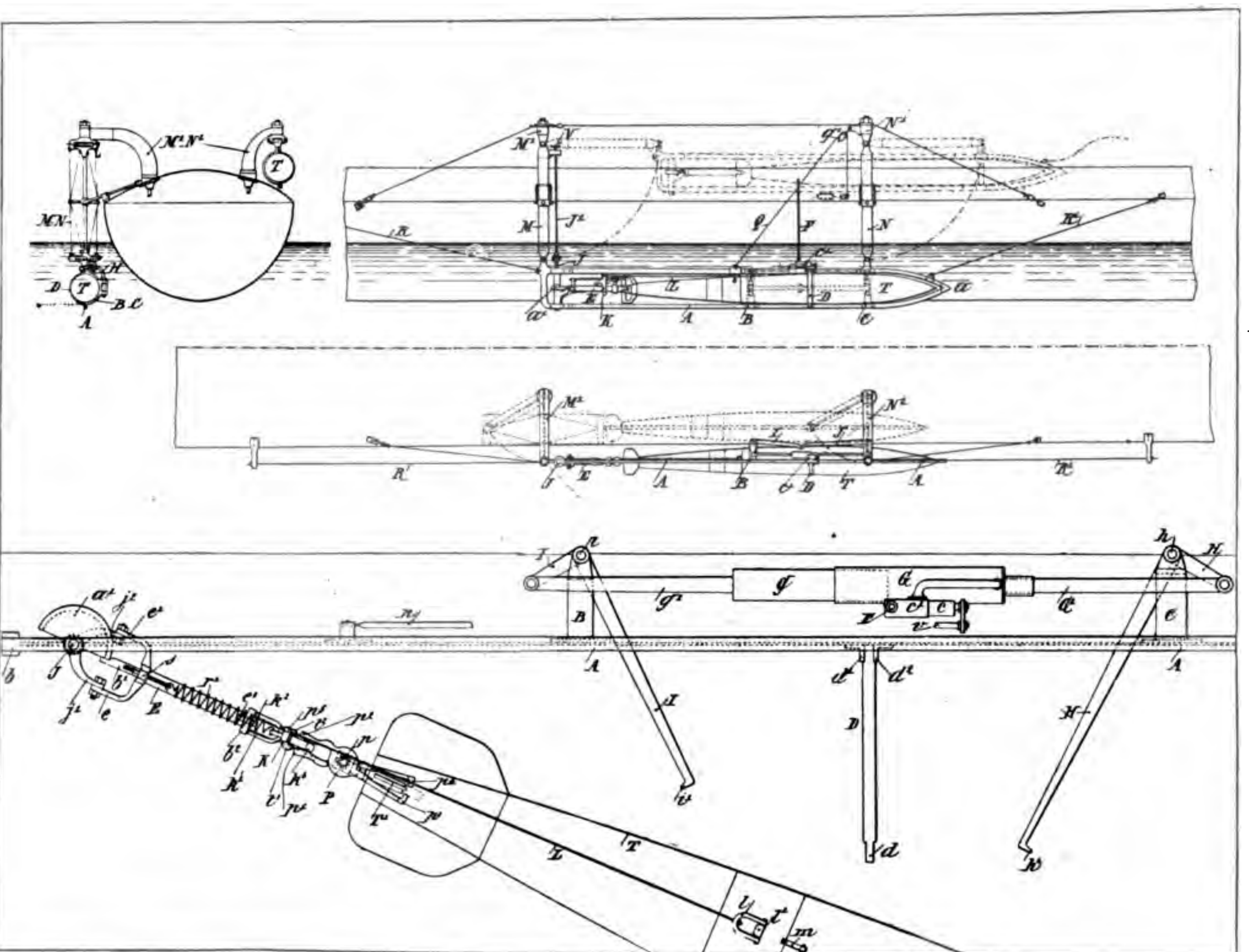


Fig. 285, 286, 287 et 288. — Lance-torpilles de M. Drzewiecki.

termine à l'arrière, est engagée sur l'extrémité d'un bras mobile E dont il est parlé plus loin.

Le verrou ou goujon *v* fait corps avec un piston *c* jouant dans un petit cylindre c^1 auquel vient aboutir un tube flexible F, par lequel on peut y amener de l'air comprimé provenant d'une source quelconque d'air comprimé.

A l'état normal de verrouillage, l'air comprimé n'est pas admis dans le petit cylindre c^1 ; celui-ci communique, par un conduit c^2, avec l'intérieur d'un plus grand cylindre G, qui lui est parallèle et qui est fixé, par son fond, à une tige G^1 articulée sur le petit bras d'un levier d'équerre H monté sur un pivot *h* appartenant au demi-collier fixe C.

Dans ce grand cylindre G se trouve un piston *g* dont la tige g^1 est articulée sur le petit bras d'un autre levier d'équerre I monté sur un pivot *i* appartenant au demi-collier fixe B. Les deux leviers d'équerre H et I sont disposés symétriquement, et leurs grands bras, qui sont en prolongement l'un de l'autre, s'appuient, par leurs extrémités respectives h^1 et i^1 sur le réservoir d'air de la torpille T. Ces leviers H et I ont pour mission, ainsi qu'on le verra plus loin, de chasser la torpille T hors du cadre A, dès que le verrouillage du demi-collier mobile D est rompu, ladite torpille oscillant alors autour d'un axe vertical J, qui n'est autre chose que celui du bras précité E.

L'arbre vertical J tourillonne dans les membrures horizontales du cadre A, à proximité de la partie arrière *b* dudit cadre ; sur cet arbre est librement enfilée une douille *j* pourvue d'une fourche sur les branches, j^1 et j^2, de laquelle sont articulées les branches correspondantes *e* et e^1 d'une autre fourche appatenant au bras mobile E. Ce bras est formé d'un tube à l'extrémité opposée duquel est fixée une tige e^2, dont la partie saillante s'engage dans le bout de l'arbre creux *t* de la torpille T. Sur l'arbre J, au niveau du bras mobile E, est calée une came a^1 servant d'appui à la tête d'une tige b^1 librement enfilée à l'intérieur du bras tubulaire E et dont l'extrémité opposée possède une languette b^2 venant faire saillie à l'exté-

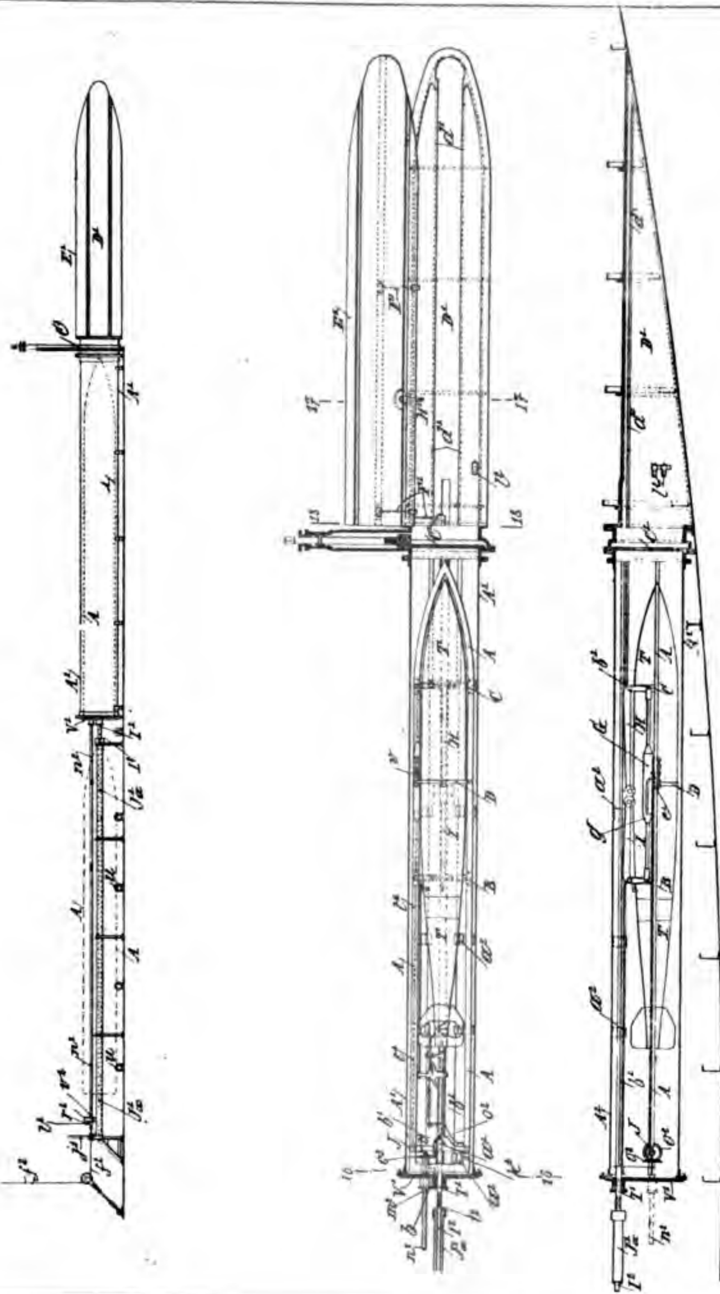


Fig. 289, 290 et 291. — Lance-torpilles de M. Drzéwiécki.

rieur en passant par une rainure longitudinale e^3 pratiquée dans le bras mobile E. Un ressort à boudin r, interposé entre la tige fixe e^2 et la tige libre b^1, presse sur cette dernière et l'oblige à faire constamment contact avec la came a^1. Sur les extrémités de la languette saillante b^2 s'appuient les deux pattes k^1, k^2 d'un levier à bascule K susceptible d'osciller sur l'axe k et sollicité constamment, vers l'arrière, par un ressort à boudin r^1 relié à un support s fixé sur le bras mobile E et dont la tension peut être réglée d'une façon convenable.

Le levier à bascule K possède deux talons latéraux t^1 et t^2 qui maintiennent en temps normal, à l'état de fermeture, les deux branches p^1 et p^2 d'une pince P dont les mordaches antérieures p^3 et p^4 emprisonnent entre elles la partie supérieure de l'aileron vertical T^1 de la queue de la torpille T. Ces mordaches p^3 et p^4 sont terminées par des becs croisés de telle sorte que la pince fermée emprisonne complètement l'aileron T^1 et que la torpille T ne puisse pas se séparer du bras mobile E. Le levier à bascule K possède, en outre, un doigt k^3 engagé entre les branches p^1 et p^2 de la pince P montée sur une tige verticale p, et un prolongement P^5 à l'extrémité duquel est fixée une longue tige flexible L, à l'extrémité antérieure de laquelle on trouve un étrier l pourvu d'une languette l^1 engagée sous le levier m de la prise d'air de la torpille T.

Enfin, la torpille T a son hélice buttée sur deux barres n, n, solidaires du cadre A, lesquelles s'opposent à la rotation de cette hélice, tant que ladite torpille est maintenue dans son cadre.

Avant de décrire les divers dispositifs de mouillage dont il peut être fait usage, nous allons indiquer le fonctionnement du lance-torpilles proprement dit dont le détail vient d'être donné.

Supposons donc une torpille T placée et fixée dans le cadre A, comme il a été dit plus haut et ledit cadre immergé ou mouillé comme l'indiquent, par exemple, les figures 277 et 278, c'est-à-dire de telle sorte que la torpille T soit complètement noyée.

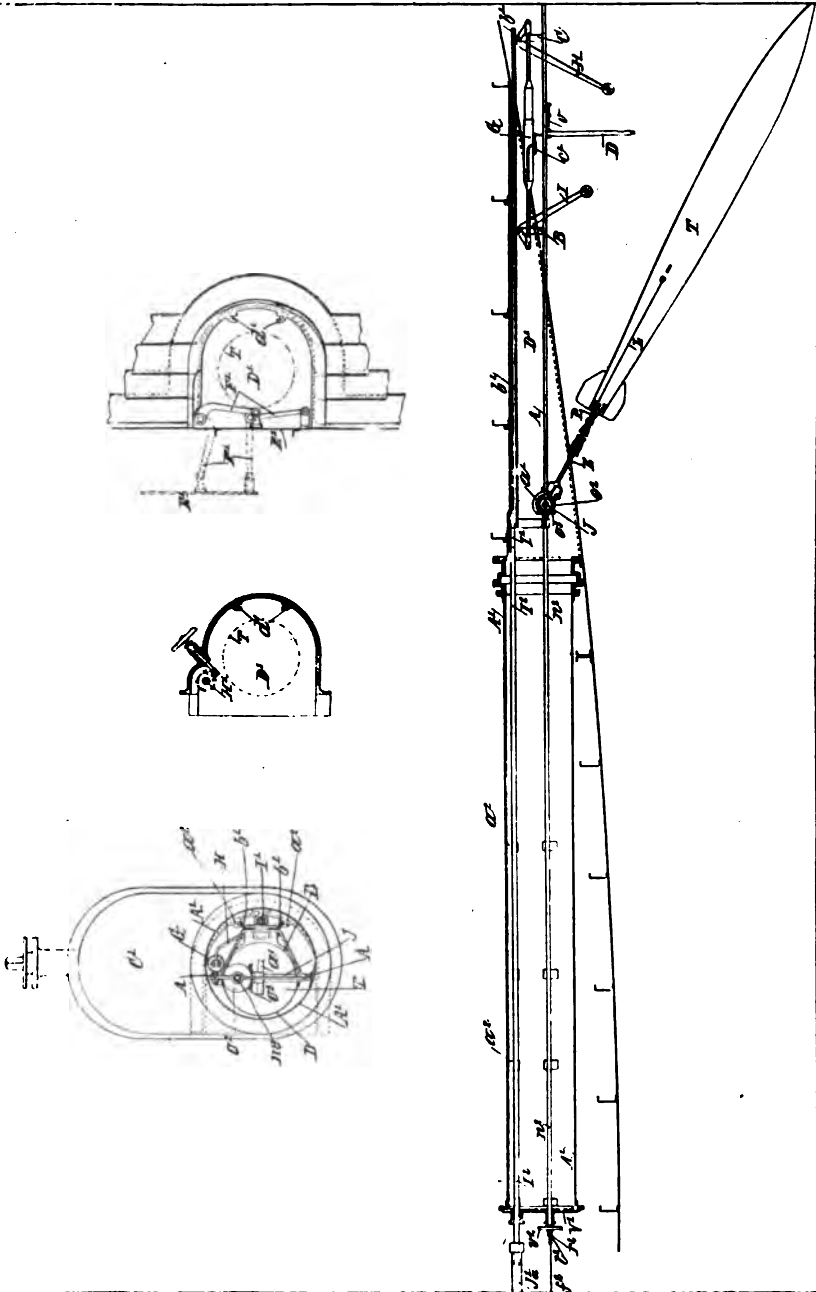


Fig. 292, 293, 294 et 295. — Lance-torpilles de M. Drzéwiécki.

Pour lancer la torpille, il faut d'abord la dégager de son cadre A pour qu'elle puisse osciller autour de l'arbre vertical J, puis la détacher du bras mobile E dont elle forme le prolongement.

La première opération à effectuer consiste à envoyer dans le petit cylindre c^1 de l'air comprimé sous l'influence duquel le piston c est refoulé et entraîne avec lui le verrou v qui libère le demi-collier mobile D. En arrivant à l'extrémité de sa course, le piston c découvre l'entrée du conduit c^2 par lequel l'air comprimé est alors admis au grand cylindre G où il exerce son action à la fois sur le fond dudit cylindre et sur le piston g, qui se trouvent refoulés en sens opposé. Cette action a pour but de faire basculer les leviers H et I, et de faire agir simultanément leurs extrémités h^1 et i^1 sur la torpille T pour la chasser hors de son cadre A. La torpille ainsi chassée oscille autour de l'arbre vertical J (*fig.* 285), qui lui sert de pivot, par l'intermédiaire du bras mobile E auquel elle est liée. On remarquera que la chasse produite par les leviers H et I ne fait que préparer l'évolution angulaire de la torpille T et que cette évolution se poursuit grâce à la résistance qu'offre l'eau à la torpille T.

La seconde partie de l'opération consiste à orienter la came a^1 dans une position propre au tir. Cette orientation peut être réglée à l'aide du viseur ou alidade V solidaire, de l'arbre vertical J ou de tout autre dispositif convenable agencé en un point quelconque du bateau ou du torpilleur et auquel ladite came serait reliée de toute façon convenable. Quoi qu'il en soit, ladite came une fois réglée sert d'appui à la tige b^1 du bras mobile E jusqu'au moment où cette tige arrive à l'extrémité de la partie courbe de la came a^1 (*fig.* 285). A ce moment la tige b^1, sollicitée par le ressort r, se déplace dans le bras mobile E dans le sens de la flèche x et déclenche le levier à bascule K qui, sous l'influence du ressort r^1, bascule dans le sens de la flèche x^1 (*fig.* 281) en oscillant autourdu point k. Ce basculement a pour effet de dégager les talons t^1 et t^2 des branches p^1, p^2 de la pince, et d'engager entre lesdites branches

le doigt k^3, qui les oblige à s'ouvrir, au cas où une résistance quelconque s'opposerait à cette ouverture ; il a encore pour effet de tirer sur la longue tringle L qui, par son étrier l à languette l^1, bascule le levier m de la prise d'air de la torpille, de telle sorte que le mécanisme moteur ordinaire et connu de celle-ci entre en fonction.

Lorsqu'il en est ainsi, la torpille T se trouve libérée (*fig.* 285) de toute attache et s'élance d'elle-même dans la direction qui lui est assignée par la came a^1.

Ceci dit, nous allons maintenant parler du mode de mouillage de la torpille.

Le lance-torpilles proprement dit est suspendu de manière à pouvoir être mobilisé verticalement, soit pour permettre l'immersion ou le mouillage de la torpille à lancer qu'il comporte, soit pour ramener sur le pont la torpille non lancée, ou bien, lorsque celle-ci a été lancée, le cadre A, à l'effet de procéder à la mise en place d'une nouvelle torpille.

Les figures 277 et 278 représentent le dispositif de mouillage auquel M. Drzéwiécki donne la préférence. Ce dispositif consiste à monter le cadre A sur un châssis O articulé en o, o sur le pont du bateau et en o^1, o^1 sur ledit cadre. Un câble Q, attaché en q sur le châssis O et passant sur la poulie q^1 d'un portemanteau Q^1, permet de faire passer le châssis O de la position indiquée en ponctué (*fig.* 277 et 278) à celle représentée en traits pleins sur lesdites figures et qui n'est autre chose que la position de mouillage. Deux câbles ou remorques R et R^1 maintiennent le cadre A pendant la phase du mouillage et assurent cette dernière position.

Des appareils de ce genre fonctionnent avec succès sur *le Narval* et vont probablement être installés à bord des torpilleurs.

CHAPITRE XII

APPAREILS DIVERS

MÉCANISME DE DÉBRAYAGE AUTOMATIQUE SYSTÈME GOUBET

Ce mécanisme se compose d'un cône A claveté sur l'arbre de l'hélice et d'un plateau conique B fou sur l'arbre.

Le cône A est sollicité par un ressort qui appuie contre une

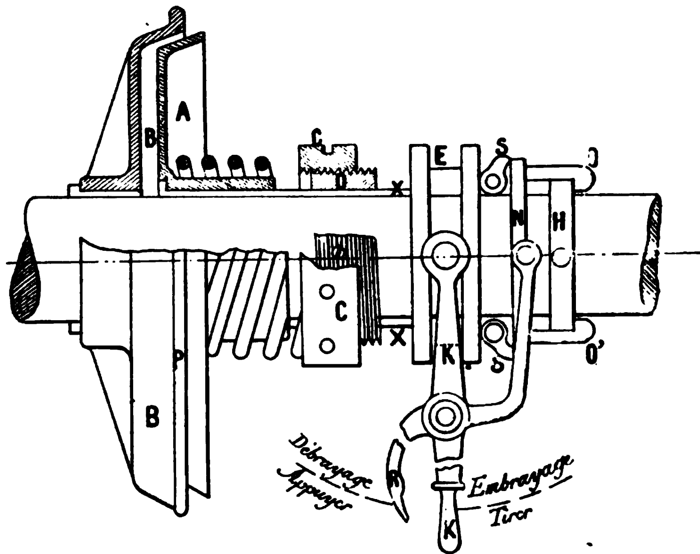


Fig. 296. — Embrayage Goubet.

bague C; on règle la tension du ressort en déplaçant la bague C sur la pièce filetée H, laquelle est fixe sur l'arbre.

Le plateau A présente une gorge P, dans laquelle sont logés les talons des clavettes qui aboutissent au manchon à gorge. E.

En agissant au moyen du levier à fourche K sur ce manchon E, on peut débrayer ou embrayer ; mais l'effort exercé entre le galet et les rebords de la gorge est considérable.

Pour diminuer cet effort, on retient le manchon E dans la position du débrayage par des loquets O, O′, qui s'accrochent derrière une rondelle H fixée sur l'arbre. Un contre-levier R permet de manœuvrer la bague N; lorsque celle-ci est déplacée vers la gauche, elle soulève les loquets O, O′; le manchon E devient libre, et le plateau A s'applique contre le plateau B.

Ce système permet de régler, à la pression voulue, l'adhérence des cônes A et B et d'éviter également le frottement qui aurait lieu sur les boutons du levier K, si ce dernier venait à offrir un point d'appui extérieur pour la compression des ressorts.

TYPE DE MOTEUR ÉLECTRIQUE DE 5 CHEVAUX

Le moteur (*fig.* 297), dont nous allons donner la description, permet de réaliser avantageusement chacune des conditions que nous avons énumérées, c'est-à-dire qu'il peut servir pour manœuvrer soit les pompes d'immersion, les pompes de cales, les compresseurs, etc., etc.

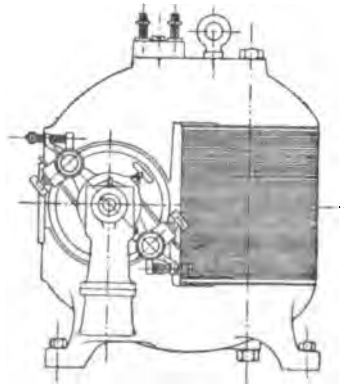


Fig. 297.
Électromoteur de 4 kilowatts.

C'est un petit moteur bipolaire à une seule bobine d'inducteur. L'un des deux paliers est venu de fonte avec le bâti, l'autre en bronze. L'induit est constitué par un anneau Gramme ordinaire ; sa force est de 5 chevaux.

INSTRUMENTS POUR L'ÉTUDE DU MILIEU MARIN

APPAREILS DE SONDAGE

Par la nature des différentes espèces de la faune océanique, recueillies dans les eaux abyssales par les missions scientifiques, consacrées aux explorations sous-marines, beaucoup présentent un grand intérêt scientifique ainsi que pour le développement de l'industrie des pêcheries.

Voici quelques lignes, écrites à ce sujet par M. le professeur Thoulet :

« Si, après avoir décrit (ce qui est un simple début), la géologie veut chercher à savoir en vertu de quelles lois les terrains sédimentaires se sont déposés, ont pris la forme, l'aspect, sous lesquels nous les connaissons, pourquoi certains grès ont des grains anguleux, tandis que d'autres les ont arrondis ; pourquoi il en est qui sont verts, d'autres blancs, d'autres rouges ; pourquoi certains dépôts sont incohérents, sans consistance, à l'état de sables, d'autres, au contraire, sont durs ; si elle désire remonter à la connaissance grandiose d'événements se succédant sans interruption dans la suite des temps, maniant et remaniant la surface de notre planète et laissant leur marque au plus humble fragment de roche ; si elle veut conclure du présent au passé et du passé à l'avenir, c'est à l'océanographie qu'il lui faudra s'adresser. Ne semble-t-il pas étrange de prétendre s'occuper de ce qui s'est accompli, il y a des millions d'années, et d'être ignorant de phénomènes à peu près identiques, qui s'effectuent aujourd'hui même dans l'océan sur lequel flottent nos navires. »

Au point de vue des pêcheries, beaucoup de puissances maritimes ont fourni des missions dans le but d'étudier et de faire des recherches sur la température, les courants, la densité et la salure des eaux côtières, de façon à connaître la nature de l'influence de ces différents éléments sur les poissons comes-

tibles pour permettre d'établir certaines réglementations concernant la pêche.

Les appareils de sondages permettent de connaître les variations dans la nature des fonds au moyen de susbtratums marins.

Beaucoup d'appareils ont été construits dans ce but; nous n'en donnerons la description que d'un seul pour mémoire.

Sondeur Fitzgerald

« La corde de sondage se termine par une boucle qui passe dans un trou circulaire percé dans le centre d'une barre de fer F, laquelle se termine à l'une de ses extrémités par une griffe et à l'autre par un second trou auquel est attachée une chaîne. Une écope A, dont le bord en fer de bêche est aigu, est assujettie à une longue et pesante tige de fer D, à laquelle est adaptée une espèce de plaque en forme de gouvernail, destinée à la maintenir pendant son rapide passage dans l'eau ; au dessous se trouve un trou, qui s'adapte exactement à la griffe de la barre F. Une porte B s'ajuste à l'écope, à laquelle elle tient par une charnière ; elle est également assujettie au bras C qui, dans la position verticale, la maintient ouverte. Le bras C est fixé par une chaîne autour de la barre F; et le bras et la chaîne sont de même longueur que la tige D. De la tige D se projettent deux dents E, E, auxquelles est suspendu un poids très lourd. L'appareil est ajusté de manière que, quand le poids est attaché et l'instrument prêt à servir, la tige F conserve une position horizontale. Dès qu'il touche le fond, la tension de la barre F cesse, le poids fait décrocher la tige de la griffe D et tombe ainsi en faisant remplir l'écope. En remontant, l'appareil prend une position à peu près verticale, et l'écope revient pleine, le poids de la tige D maintenant le couvercle pressé sur l'ouverture. »



Fig. 298. — Sondeur Fitzgerald.

DISPOSITIF POUR PHOTOGRAPHIER LE FOND DE LA MER
SYSTÈME Dr P. REGNARD

A part les indications sur la nature du substratum océanique que peuvent nous donner les appareils de sondage, il est souvent intéressant de pouvoir se représenter la configuration du sol sous-marin, par la photographie. Il a fallu la haute compétence de M. le Dr P. Regnard pour permettre de réaliser avantageusement cette difficulté.

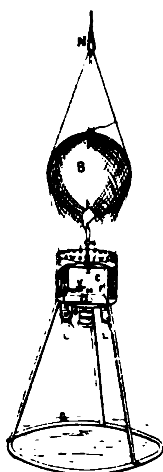


Fig. 299.

Le cas n'était pas facile à réaliser ; le problème se compliquait non seulement de l'énorme pression que l'on trouve dans les eaux profondes ; mais encore la lumière n'y laisse pénétrer aucun rayon ; il fallait donc imaginer un appareil dont la mise au point et le temps de pose ne devait présenter aucune difficulté. Nous ne pouvons mieux faire que d'en donner la description, faite par l'auteur lui-même.

« Une caisse ronde, formée d'un tube de cuivre, est fermée à ses deux extrémités par des plaques de cuivre circulaires dont la supérieure se fixe sur une bague de caoutchouc au moyen de boulons à oreilles.

« Dans cette caisse se trouve enfermée une chambre noire C dont la glace sensible est fixée dans un châssis à rideaux S. Cette chambre est portée sur un affût dit à crinoline, qui se pose sur le sol quand on descend l'appareil.

« La distance du sol à l'appareil est de ce fait toujours le même ; l'objectif est donc toujours au point.

« La plaque supérieure de la caisse est percée d'un trou où s'engage le robinet R, surmonté d'un ballon compensateur B, analogue à celui de notre lampe électrique. Il est destiné, comme pour celle-ci, à annihiler l'influence de la pression de l'eau. »

« Il faut maintenant que l'appareil s'ouvre et se ferme à des intervalles donnés. Ceci est réalisé par l'appareil M composé d'un disque qui est mû par un mouvement d'horlogerie. Ce disque est percé d'une fente demi-circulaire quand, par suite du mouvement de rotation, elle vient à passer devant l'objectif; elle en ouvre la lumière; quand survient la partie pleine du disque, l'objectif est formé. Il est facile de régler le volant à ailettes V, de telle sorte que le passage de la fente dure un temps donné.

« Reste à éclairer le fond de la mer, qui pourrait se trouver trop sombre pour être photographié. Pour cela, une couronne de petits accumulateurs E, E, entoure la chambre noire. Ils sont réunis en tension et apportent leur courant à deux lampes Edison, placées au dehors de l'objectif et protégées contre la pression par une cloche de piézomètre solidement mastiquée.

« Pour que les accumulateurs ne s'épuisent pas en dehors du temps de pose, c'est le disque M qui, en tournant, établit le courant au moment où la fente F arrive devant l'objectif et qui le rompt au moment où cette fente a terminé sa course.

« Un système de câble en patte d'oie N permet d'immerger l'appareil et de l'attacher à une *légère* bouée.

« Pour opérer, on met une glace sensible en I, on lance le volant V, après avoir placé le disque de façon que la fente arrive le plus tard possible en face de l'objectif. Les accumulateurs bien chargés sont en rapport avec les lampes. On referme la boîte A, on ouvre le robinet R, on immerge, on attache la bouée et on se retire au loin. Le trouble causé dans l'eau par la descente de l'appareil se dissipe, la pose a lieu, puis tout rentre dans l'ordre, on relève l'appareil, on change la glace, et on est prêt pour recommencer. »

Machine frigorifique de 500 frigories

Réfrigérant. — Le volume au réfrigérant (air) :

$$= 1^{m3}, 530 \times 60' = 93 \text{ mètres cubes.}$$

Le poids de cet air :

$$= 1,293 \times 93 = 120^{kg},249.$$

Si l'on compte la sortie d'air du réfrigérant à 30°, le nombre de calories cédées à l'eau sera, si on prend 180° comme température d'entrée au réfrigérant :

$$2,375 \times 180 - 30 \times 120,249 = 4.283^{cal},87,$$

si nous prenons une pompe de circulation de 60 millimètres de diamètre, 100 millimètres de course, 40 tours, nous avons pour débit :

$$0,2827 \times 2 \times 40 \times 60' \times 0,90 = 1.221^{lit},600.$$

Différence de température de l'eau, entrée et sortie :

$$\frac{4.283,87}{1.221,600} = 3°,5.$$

Surface tubulaire du réfrigérant, 1^{m2},800.

Compresseur d'air — diamètre = 210 millimètres course = 140 millimètres.

Le débit théorique à 200 tours par minute est :

$$3,4636 \times 1,4 \times 2 \times 200 = 1.939^{lit},6.$$

Si nous prenons 0,80 pour rendement, le débit pratique par minute sera :

$$1.939,6 \times 0,80 = 1.551^{lit},7, \text{ soit } 1.550 \text{ litres}$$

Supposons le volume d'air aspiré au réfrigérant, soit à 0°, sous une pression de 1 kilogramme environ; devant être

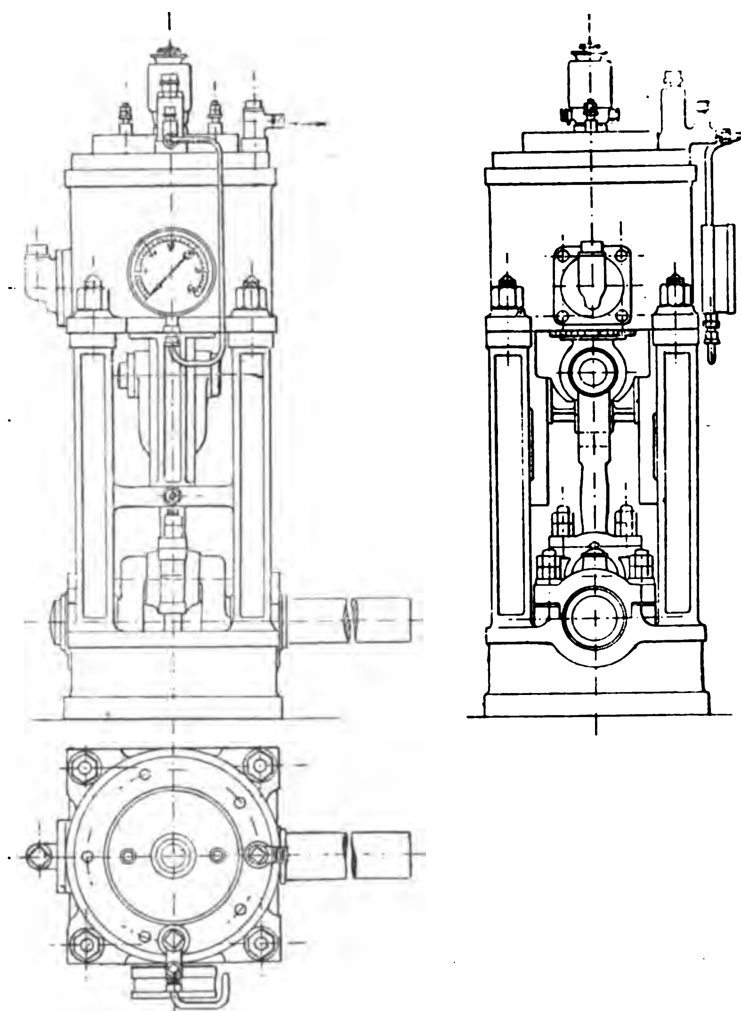


Fig. 300, 301 et 302. — Compresseur d'air, système Thirion.

ramené à la pression de 3^kg^,5 et 30° en refoulement du compresseur. La formule de Mariote et de Gay-Lussac nous donne $P \times V \times 1 + \alpha t = pv \times 1 + \alpha t'$; remplaçons les lettres par

leurs valeurs connues, nous aurons :

$$1.550 = 4,5 \times v \times 1 + \alpha\, 30^\circ.$$

$$V = \frac{1.550}{4,5} \times 1,11 = 310^{lit},3.$$

Le volume engendré par minute au détendeur (diamètre du détendeur = 170 millimètres).

$$V'' = 2,2618 \times 1,4 \times 2 \times 200 = 1,271^{lit},088;$$

en tenant compte de la section de la tige du piston, on n'a plus que 2,2432.

La période d'introduction V' = 310 amenée au détendeur par minute =

$$\frac{310,3}{2.2432 \times 2 \times 200} = 0,345,$$

ce qui donne, pour une course de 140 millimètres, une introduction de :

$$\frac{0,345}{1,4} = 0,246 \quad \text{soit} \quad 25\ 0/0.$$

Le volume à fin de course :

$$V' = 2,243 \times 1,40 = 31^{lit},402.$$

Le volume initial pour 25 0/0 de course :

$$2,243 \times 1,4 \times 0,25 = 7^{lit},85.$$

Si la pression de l'air est à $4^{kg},5$ et 30°, supposons l'air à — 40° détendu, la pression finale sera donnée par :

$$P' \times 31,402\ (1 + 0,0036)\ (-40^\circ) = pv'\ (1 + 0,0036 \times 30) = 1^{kg},575.$$

Effort maximum au détendeur :

$$3^{kg},5 \times 2,27 = 794 \text{ kilogrammètres.}$$

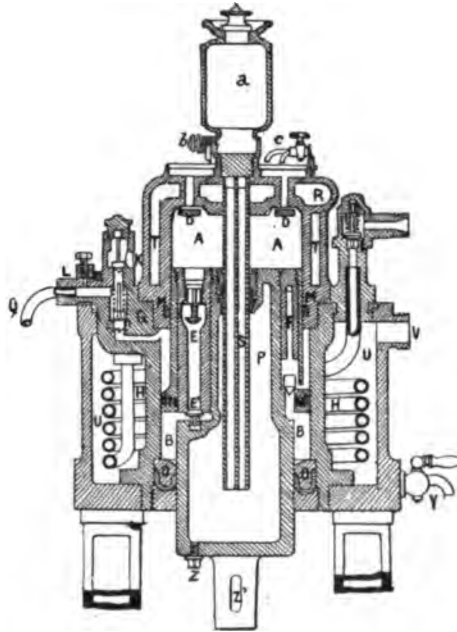


Fig. 303. — Coupe du compresseur d'air.

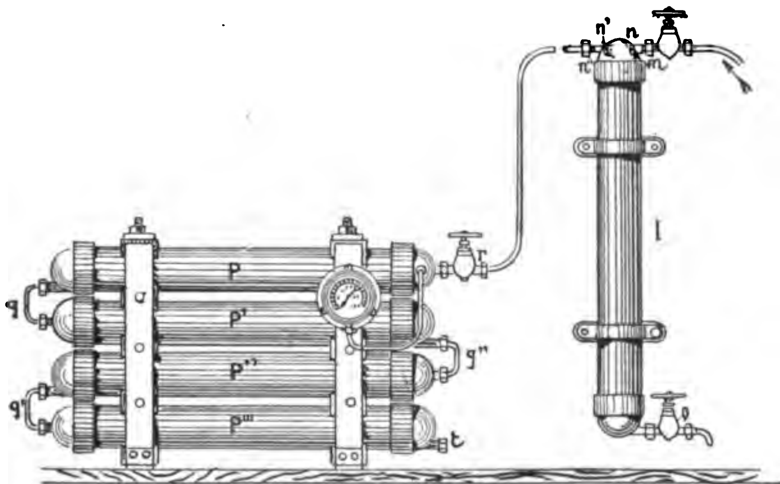


Fig. 304. — Accumulateur d'air.

Effort maximum sur la glissière, 160 kilogrammes, nous prendrons comme tête du piston :

$$110 \times 70 = 7.700 \quad \text{soit} \quad p = 0^{kg},02.$$

Effort sur la bielle, 810 kilogrammètres ;
Travail au compresseur :

$$V \times 10,333 \times \log.\ \text{not.} \frac{p'}{p} = 1,500 \times 10,330 \times 0,026 = 390 \times 0,65$$

rendement. Travail théorique d'un compresseur en kilogrammes :

$$N = V \times 10,333 \times \log.\ \text{not.} \frac{p'}{p}.$$

p, pression finale absolue ;
p, pression initiale ;
Le log. not. égale le log. ordinaire, multiplié par 2.3026 ;
V est le volume comprimé en une heure à la pression P, avec une force d'un cheval-vapeur.

Écoulement d'un gaz par un orifice

φ, coefficient de contraction ;
m, coefficient d'excès de pression ;
φ = 0,65 pour un orifice en mince paroi ;
= 0,83 pour un orifice dont la longueur est deux fois le diamètre.

$$m = \frac{1}{1 + 0,058 \left(\frac{n - n^o}{n}\right) \frac{3}{2}},$$

$$V = 396\ m\varphi \sqrt{\frac{n - n^o}{n} + \frac{1 - \alpha t}{d}},$$

$$Q = 396\ m\varphi\pi \sqrt{\frac{n - n^o}{n} + \frac{1 \alpha t}{d}}.$$

Pompes de compression d'air

POMPE ET DÉBIT à l'heure	PUISSANCE EN chevaux	CONSOMMATION DE VAPEUR par heure	OBSERVATIONS
litres	chevaux	kilogrammes	Les puissances et consommations de vapeur sont celles résultant d'un fonctionnement pendant une heure à la pression d'air de 100 kilos.
225	7	245	
500	15	542,5	
750	23,3	815,5	

Nous signalerons encore les essais exécutés, en 1890, par M. Denton, sur une machine frigorifique de la *Consolidated Ice Machine C°*, de Chicago, destinée à refroidir un bain à 18° environ[1].

Les cylindres du compresseur, au nombre de deux, verticaux et à simple effet, avaient 305 × 750 de course ; commandés par une machine verticale à double effet de 460 × 920, ils aspiraient l'ammoniac d'un serpentin réfrigérant à tubes de 25 millimètres de diamètre et de 743 mètres carrés de surface ; celle du serpentin du condensateur était de 464^{m3},5. Dans chaque compresseur, le refoulement a lieu par *f* (*fig.* 305), et l'aspiration par un tuyau *e* constamment en communication avec le bas du cylindre, de manière à empêcher la pression de s'y élever par accumulation des fuites du piston; il suffit de desserrer la barre V pour accéder aux soupapes, et le stuffing-box se règle par le serrage à vis TMC. Le piston arrive à 0^{mm},8 du fond supérieur du cylindre, avec un espace nuisible total égal à 0,3 0/0 de la cylindrée. Diamètre des soupapes d'aspiration, 93^{mm},4 et de refoulement 72 millimètres.

On peut déduire approximativement, de sa puissance frigorifique, la chaleur latente de vaporisation de l'ammoniac employé dans la machine. M. Denton a trouvé ainsi des

[1] G. Richard, *Revue de Mécanique.*

valeurs se rapprochant de celles que donne la formule de Wood ; elle varie de 316 à 300 pour des pressions d'aspiration de 2 à 0^{kg},2 et de 280 à 330 pour des pressions de liquéfaction de 10^{kg},5 à 7 kilogrammes.

Les principales conclusions à tirer de ces essais sont les suivantes :

La puissance frigorifique est à peu près proportionnelle au poids d'ammoniac passé par unité de temps au compresseur, ou au débit en poids de ce compresseur, lui-même à peu près proportionnel au produit du débit en volume par la pression absolue d'aspiration. Cette pression absolue varie, en moyenne, de 1^{kg},5, avec laquelle on peut produire un froid de — 20° environ, à 3 kilogrammes, pression avec laquelle on ne peut guère descendre au-dessous de — 2°, mais en développant, toutes choses égales, deux fois plus de frigories qu'à — 20°. La surface des tubes réfrigérants dans le bac à chlorure de calcium doit être d'environ 36 pieds carrés par tonne américaine de glace à produire en 24 heures, ou de 1^{m3},10 par 1.000 frigories-heures effectives, avec une pression d'aspiration de 2 kilogrammes effective ou 3 kilogrammes absolue ; on ne gagne que très peu en augmentant la surface des tubes réfrigérants au-delà de cette limite pratique.



Fig. 305. — Compresseur de la *Consolidated Ice Machine C°.*

Le rendement de la machine dépend principalement de la différence des pressions d'aspiration et de refoulement au condenseur, ou de la chute de température du condenseur au

réfrigérant; l'économie dépend aussi du prix de l'eau. Avec une pression effective de 2 kilogrammes à l'aspiration et de $10^{kg},5$ au refoulement, et un moteur dépassant $1^{kg},36$ par cheval-heure indiqué, on peut compter sur une production de 24 kilogrammes par kilogramme de charbon, ou de 18 kilogrammes de glace par cheval indiqué. Il faut, pour obtenir ce résultat, dépenser par minute environ 1 gallon d'eau de refroidissement pris à 56° F. par tonne de glace en vingt-quatre heures (tonne américaine de 2.000 livres) ou par 72.000 frigories en vingt-quatre heures, soit environ 90 litres d'eau à 14° pour une puissance effective de 1.000 frigories par heure, ou enfin, très largement, 10 litres par kilogramme de glace à l'heure. Une diminution de 25 0/0 de la circulation d'eau augmente de 20 0/0 le travail des compresseurs, abaisse le rendement de 24 kilogrammes à 18 kilogrammes de glace par kilogramme de charbon, avec une pression d'aspiration de 2 kilogrammes, et à $11^{kg},5$ avec une pression de $0^{kg},5$. En triplant la dépense d'eau, on peut abaisser la pression de refoulement à 7 kilogrammes, et de 25 0/0 le travail du compresseur.

La vigie sous-marine de M. Orecchioni

Afin d'éviter les collisions en mer, par temps de brume, de brouillards, M. Orecchioni a eu l'idée de munir l'avant des navires de vedettes électriques auto-indicatrices, précédant chaque navire de 300 à 500 mètres.

La vedette est reliée électriquement au navire par deux câbles flexibles tenus toujours tendus par la traction de la vedette. Ces câbles forment deux circuits; l'un conduit l'énergie électrique fournie par une dynamo génératrice placée à bord du navire aux dynamos réceptrices logées dans la vedette. Le deuxième circuit transmet les signaux à l'officier de quart et indique la présence de tout corps flottant par la vigie.

La vigie sous-marine de M. Orecchioni est constituée par une coque cylindro conique dissymétrique de 7 mètres de long, $0^{m},50$ de diamètre, ayant la forme extérieure d'une tor-

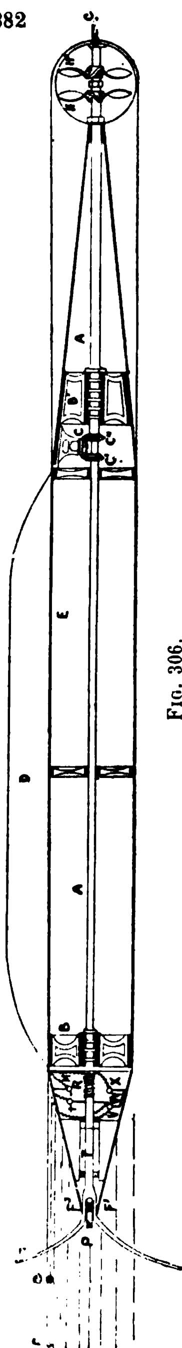


Fig. 306.

pille Whitehead. Le bordé de la coque est en aluminium de 5 millimètres d'épaisseur.

Le cône d'avant a une longueur de 1 mètre et renferme l'avertisseur électrique. Les fourches F, F, destinées à heurter l'obstacle, sont reliées invariablement à une tige métallique T, qui peut glisser dans le sens de l'axe de l'appareil au milieu d'une fente F'. Ce déplacement de la tige T met en contact les pôles positif et négatif des fils M de la sonnerie d'alarme située à bord du navire, et rompt le courant en V, qui produit la marche avant de la vigie, pour en établir un autre en X, qui fera faire marche arrière à celle-ci, jusqu'à ce que l'obstacle soit évité, c'est-à-dire lorsque le navire prévenu aura changé de direction.

Le ressort R ramène les contacts à leur position primitive; la sonnerie cesse, et la vigie reprend sa marche en avant. La fourche est disposée de façon à embrasser l'espace le plus étendu possible dans le sens vertical.

Voyons maintenant comment l'appareil permettra d'éviter une collision avec un navire également muni d'une vigie. Supposons donc la fourche rencontrant les câbles électro-tracteurs C, C de la vigie d'un autre navire en marche. Le câble touché glissera le long de la fourche pour venir s'engager dans la gorge d'une poulie P; la pression produite agira sur la tige T qui, par suite de son refoulement, fera fonctionner la sonnerie d'alarme.

La partie cylindrique de l'appareil contient 10 dynamos-réceptrices de la force de 10 chevaux chacune. Un flotteur D, situé à la partie supérieure du cylindre, assure la flotta-

bilité la plus complète de la vigie, dont le volume est calculé de manière qu'elle n'immerge que de la moitié. Les câbles électro-tracteurs se rendent dans le cône d'avant, en suivant l'intérieur de l'enveloppe du flotteur. L'hélice H' est fixée sur l'arbre plein A et l'hélice H sur l'arbre creux A'; les deux hélices tournent en sens contraire, l'une à droite, l'autre à gauche;

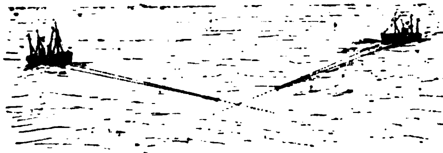


FIG. 307. — Deux navires armés de la torpille-vigie Orecchioni.

ce résultat est obtenu grâce aux roues d'angle *c*, *c'* et *c''*, placées dans le cône arrière, dont la longueur est de 1m,50. Le poids total de la vigie est de 1.200 kilogrammes, dont 900 pour les moteurs, 200 pour la coque et 100 pour les accessoires (hélices, fourches, etc.).

On peut ne se servir de l'appareil que par les temps brumeux ou dans des parages dangereux; on la met à la mer, tout comme un canot, et elle va d'elle-même prendre sa position normale, lorsqu'on lui a communiqué l'énergie électrique nécessaire.

PROTECTEUR NAVAL F. V. MAQUAIRE

Cet appareil est essentiellement constitué par une sorte de torpille électromobile dirigeable, disposée de façon à réaliser une série de moyens de protection contre les dangers de mer, savoir :

Protection contre les collisions navales... (éclaireurs de marche) ;

Sondages... (sondes planigraphiques de sûreté) ;

Signaux avancés (pour les temps de brume) ;

Sauvetage (flotteurs électromoteurs de secours).

Nous allons résumer brièvement les caractères spéciaux de ces diverses applications et indiquer sommairement les dispositifs généraux particuliers à chaque cas.

PROTECTION CONTRE LES COLLISIONS NAVALES

Éclaireurs de marche

Le nombre croissant des navires et l'augmentation de leur vitesse de marche ont considérablement augmenté les sinistres de mer, dus aux échouements et aux collisions. Les sinistres relevés par le Bureau Véritas pendant la période décennale 1885-1894 s'élèvent à :

Voiliers..........	40.474,	soit une moyenne annuelle de			4.047,4
Vapeurs..........	27.143	»	»	»	2.714,3
Total.......	67.617	»	» générale annuelle		6.761,7

La progression dans le nombre des accidents a été la suivante :

		Echouements	Collisions	Totaux		
Voiliers	1.885.....	675.......	591.......	1.266		
	1.894.....	869.......	785.......	1.654	=	un tiers
Vapeurs	1.885.....	362.......	528.......	890		
	1.894.....	925.......	925.......	1.850	=	le double

Ces faits n'émeuvent pas l'opinion publique, ignorante de la situation ; elle ne se trouble que momentanément, sous le coup de catastrophes retentissantes, telles que le récent et déjà oublié naufrage de *la Bourgogne*. Cependant combien de vies, combien de millions sont ainsi engloutis ? D'autre part, les Compagnies d'Assurances maritimes ne se plaignent nullement de cet état de choses. Il est vrai que des Congrès se sont réunis et une Conférence internationale a été tenue. Les pouvoirs publics des nations maritimes ont proposé des prescriptions ayant pour but de diminuer la fréquence et la gravité des collisions navales, en imposant d'une manière générale la vitesse et la route que

devront adopter les navires, suivant les lieux et les circonstances.

Quels seraient les résultats de cette réglementation internationale, en admettant qu'elle soit observée par les navigateurs, ce qui est douteux? Son effet certain serait d'annihiler les résultats obtenus, après tant de dépenses et d'efforts, pour réaliser une économie de peine et de temps dans les voyages maritimes.

Avant de se résoudre à un pareil mouvement de régression, ne faut-il pas examiner si le problème ne comporte pas aussi et surtout des solutions d'ordre technique?

Les découvertes scientifiques et le perfectionnement des industries mécaniques et électriques apportent chaque jour des moyens nouveaux, permettant souvent de résoudre les problèmes qui paraissaient les plus insolubles. Or, tous les moyens connus de prévenir les collisions navales n'ont pas été mis à l'épreuve des essais pratiques.

Comment ont été obtenus et comment se développent les étonnants progrès accomplis dans la vitesse des navires? Par l'étude et l'utilisation permanente et sans cesse complétées de toutes les découvertes, de tous les perfectionnements ayant trait à leurs machines motrices, aux propulseurs, etc., et, en résumé, à tous les éléments, sans exception, de cette question.

Est-ce que, par voie de conséquence, les progrès réalisés dans la construction des navires et la puissance de leurs moteurs ont été, jusqu'ici, complétés par des moyens équivalents de garantie contre les dangers résultant de masses plus grandes animées de plus grandes vitesses, qui caractérisent les nouvelles constructions navales? Nullement! Cependant, en vertu du parallélisme de développement qui, seul, peut constituer des organismes normaux et viables, il est évidemment nécessaire qu'à l'augmentation des puissances motrices, réalisant les grandes vitesses, causes des dangers, corresponde une augmentation ou un perfectionnement équivalent des moyens préventifs de ces mêmes dangers. Le mal ne tient donc, en définitive, qu'à ce défaut de parallélisme dans les progrès de

la navigation. Il en résulte que le seul remède logique et pratique consiste à amener les moyens de garantie au niveau des moyens intensifs d'action, dont l'emploi va se généralisant de plus en plus.

Comment se pose le problème de la prévention des collisions navales?

Les causes de collisions peuvent être résumées ainsi :

1° Le fait de n'avoir pas aperçu l'obstacle quelconque, bateau, récif, iceberg, etc., qui se trouve sur la route du navire en marche ;

2° Le temps, trop court, qui s'écoule entre le moment où cet obstacle est signalé, et le moment où la collision se pro-

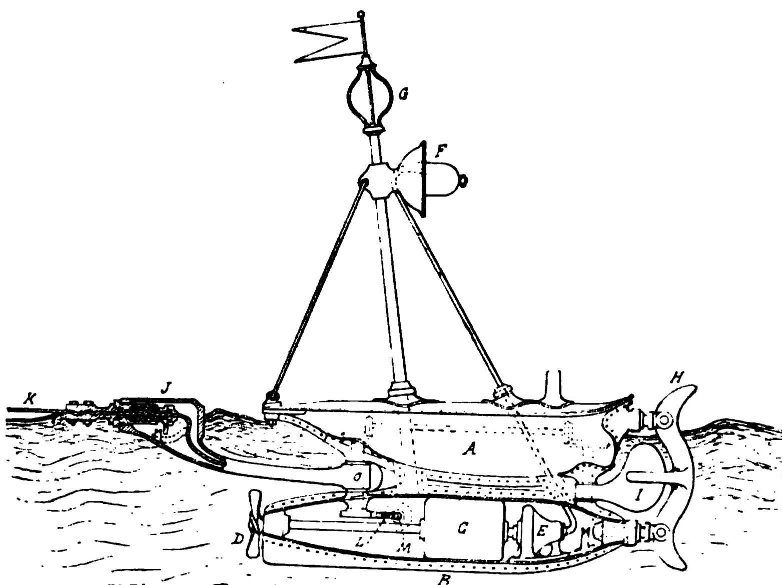


Fig. 308.

duit ; temps insuffisant pour assurer la manœuvre de déviation de la route primitivement suivie ;

3° L'incertitude dans laquelle se trouve le commandant d'un navire, sur la position exacte de l'obstacle signalé ou soup-

çonné et menaçant de déterminer une collision ; incertitude qui cause à son tour l'indécision sur la manœuvre à accomplir, empêche qu'elle soit faite à temps, ou a pour conséquence de terribles erreurs de direction.

Or, d'après l'avis de marins expérimentés, le commandant d'un navire marchant à grande vitesse peut changer sa route, de manière à éviter une collision, lorsqu'il est prévenu de l'existence et de la position d'un navire en mouvement inverse du sien, situé à la distance de quatre fois la longueur de son propre navire. Les plus grands navires actuellement en construction n'atteignant pas 200 mètres de longueur, il s'agit donc de connaître en permanence, pendant la brume et l'obscurité, s'il existe un obstacle, et en quel point, sur la route que va parcourir un navire, dans une zone de 800 à 1.000 mètres d'étendue.



Fig. 309.

Le Protecteur Naval présente les éléments nécessaires à la réalisation de ces conditions générales du problème. Il est essentiellement constitué par une ou plusieurs torpilles électromobiles dirigeables remplissant les fonctions d'*éclaireur de marche*, telles qu'elles viennent d'être définies, en précédant de 800 à 1.000 mètres le navire, qui leur fournit la force motrice et la direction, et dont ils doivent explorer la route.

Le rôle de l'*éclaireur de marche* est non seulement de signaler à son navire tout obstacle rencontré sur sa route, mais, en même temps, de porter aussi loin et aussi nettement que possible l'avertissement de la proximité de son navire. Pour remplir ces buts multiples, il est construit et muni d'organes, comme suit (*fig.* 308 et 309).

Une première partie A, formant flotteur, a la forme générale d'une coque de bateau. Elle tient en suspension une seconde par-

tie B, complètement immergée, pisciforme ou fusiforme, qui contient la plupart des organes de fonctionnement : l'électromoteur C, sur l'axe duquel sont montées l'hélice propulsive D et une turbine en E. Cette dernière est destinée à produire des signaux sonores F, tandis que les signaux lumineux sont produits en G, sur un petit mât. A l'avant, une étrave fléchissante, ou bouclier H, fixé sur deux tiges agissant comme commutateurs électriques, lors de la rencontre d'un obstacle. De semblables commutateurs sont aussi disposés, en d'autres points, sur le câble. Un gouvernail I est conjugué, en action concordante, avec la barre d'attelage et de direction J, recevant le câble électrique isolé K, servant de relation avec le navire. Sur l'axe O de J est fixé un arc de cercle denté L, engrenant avec une vis sans fin M. Cette dernière est actionnée tantôt dans un sens et tantôt dans l'autre, par un petit électromoteur d'une disposition spéciale, telle que la barre d'attelage J et le gouvernail I soient, à volonté, commandés du navire de l'éclaireur, de façon à occuper des positions quelconques, déterminées avec certitude et connues en permanence, sur le navire. L'éclaireur de marche peut être muni d'autres dispositifs encore, tels que, par exemple, de microphones permettant de percevoir des bruits ou signaux sonores, encore imperceptibles à l'audition simple sur le navire, et d'établir une correspondance téléphonique, qui peut être précieuse en cas de collision. Or toutes ces fonctions peuvent être assurées au moyen d'un câble de relation avec le navire contenant trois ou quatre conducteurs isolés, de petit diamètre.

Ainsi armés, les éclaireurs de marche, tant par les signaux émis que reçus par eux et transmis à leurs navires, auraient pour effet d'augmenter en étendue, en puissance, en précision et en durée, les facultés d'observation et de transmission de tous les phénomènes qui sont liés aux causes de collisions navales. Et il n'est pas douteux que la valeur de semblables moyens automatiques d'avertissement des phénomènes et d'exécution des fonctions protectrices est supérieure à la valeur des moyens fournis par l'usage de nos sens, très délicats,

mais trop sujets à l'illusion, à la distraction et à la fatigue.

De l'ensemble des dispositions ci-dessus indiquées, il ressort que, le commandant d'un navire, muni d'éclaireurs de marche de ce genre, sera averti, en temps opportun, de façon à lui permettre d'éviter une collision avec un autre bâtiment, une banquise, un récif, un obstacle quelconque. D'autre part, un navire au repos ou un point fixe quelconque sera, comme un navire en marche, prévenu, de la même manière, d'un danger de collision avec un navire ou corps quelconque en mouvement vers lui.

En joignant aux moyens que nous venons de décrire, et suivant les cas, la télégraphie sans fils, les observations acoustiques système Hardy et tant d'autres moyens à combiner, de grands progrès seraient sûrement réalisés. En tous cas, jusqu'à ce que les découvertes et les perfectionnements d'appareils concernant la prévention des collisions navales n'auront pas été soumis à l'expérimentation pratique, nul ne pourra prétendre à l'impossibilité de lutter efficacement contre ces terribles dangers et de conjurer ces désastres.

SONDAGES

Sondes planigraphiques de sureté

Toutes les sondes employées jusqu'ici ont été constituées par un fil tendu par un corps pesant et indiquent la profondeur, point par point, seulement.

Dans les cas de fonds de sable, qui présentent le plus souvent des ondulations lentes et de peu d'amplitude, ce moyen est suffisant. Mais, sur les fonds rocheux, ces sondages limités à un réseau de points qui ne peuvent être très rapprochés laissent ignorer l'existence d'aiguilles dangereuses ayant échappé aux sondages les plus soignés.

La *sonde planigraphique* remédie à ce grave inconvénient en explorant les eaux non plus seulement verticalement et par points espacés, mais suivant des nappes horizontales ou

tranches de niveau d'une largeur indéterminée. Ces zones, en se recouvrant sur leurs bords, ne peuvent laisser aucun point inexploré. La sonde planigraphique est essentiellement constituée, comme l'indique le schéma de la figure 310, par un assemblage de corps *a* plus denses que l'eau, disposés en une sorte de chaîne immergée à une profondeur variable, à volonté, par des

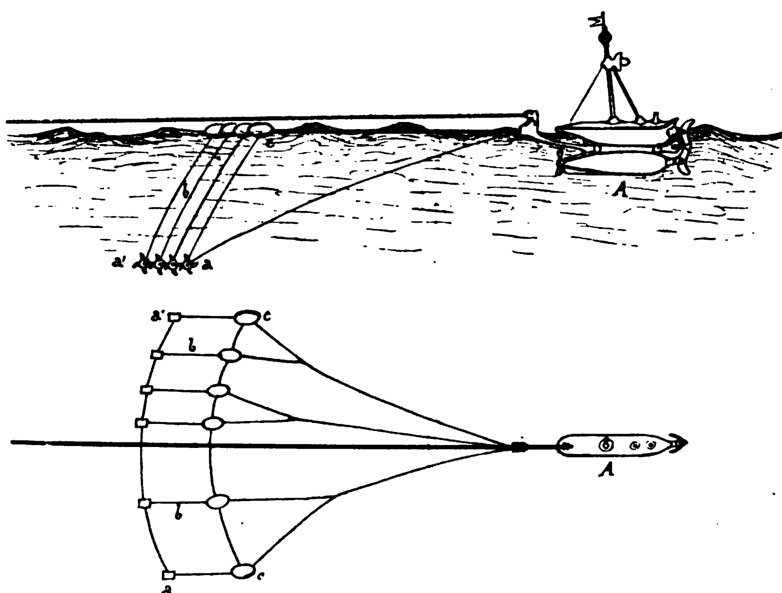


Fig. 310.

cordes ou chaînes *b*, qui la relient à des flotteurs *c* contenant les treuils emmagasinant les cordes de suspension *b*. Les flotteurs *c* sont eux-mêmes reliés entre eux et avec la même torpille électromobile A, précédemment décrite. Cet ensemble constitue un organe d'exploration susceptible d'indiquer avec certitude, rapidité et précision, s'il existe un obstacle, en quel lieu et à quelle profondeur, sous les eaux. Pour obtenir ce résultat, il suffit de régler le commutateur électrique de la barre d'attelage du ou des câbles de la sonde avec l'éclaireur, de telle façon que lorsque la sonde rencontre une résistance anormale, un courant est établi ou rompu à bord du navire. Les organes

tentaculaires *a* pourraient être organisés de façon à donner des signaux électriques indépendants pour chacun d'eux. Ces signaux pourraient indiquer automatiquement leur action ou déterminer l'ascension et la descente de la chaîne exploratrice *aa'*, et, enfin, soit par une lecture indicatrice des profondeurs successives, soit même par un enregistrement immédiat de la courbe du fond, donner un diagramme de chaque trajet d'exploration.

SIGNAUX AVANCÉS, POUR LES TEMPS DE BRUME

Les éclaireurs électromobiles dirigeables peuvent encore rendre de grands services en permettant la création d'un nouveau genre de signaux lumineux et sonores conservant en temps de brume

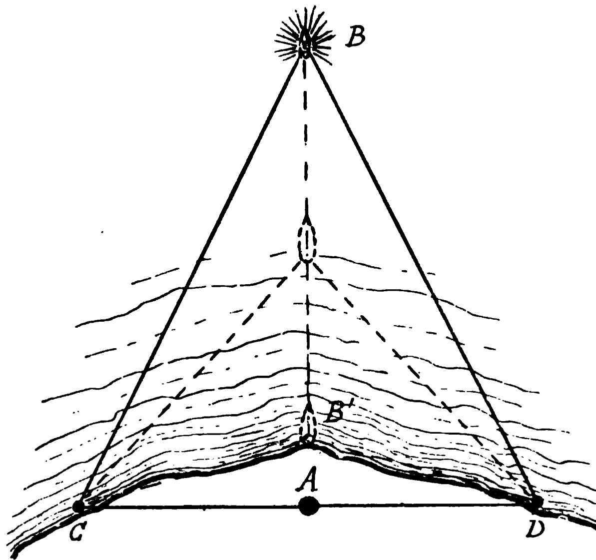


FIG. 311.

toute l'efficacité de protection des phares et sirènes sur les points dangereux des côtes.

Ce résultat est obtenu de la manière suivante : Soit A (*fig.* 311), la position fixe d'un phare et de sa sirène. Soit B,

une position avancée, en mer, où il serait nécessaire de porter les signaux lumineux et sonores pour conserver à ces moyens d'action toute leur efficacité. En munissant un bateau-signal, du genre du Protecteur Naval, des organes de manœuvre des éclaireurs électromobiles dirigeables et des signaux lumineux et sonores, convenables en chaque cas pour donner l'indication du point géographique du lieu, on opérerait ainsi :

Le bateau-signal, ou poste de signaux avancés, mouillé en B', par exemple, serait muni de deux amarres B'C et B'D, contenant des conducteurs électriques, et fixées en C et en D, chacune sur un treuil électromoteur, pour rappeler le poste à son mouillage à l'aide de son électromoteur propre. Le poste de signaux avancés prendra la mer en tendant ses amarres en permanence. Il viendra occuper le sommet B du triangle CDB, c'est-à-dire une position rigoureusement définie par rapport au phare fixe A. Chacun des signaux émis par ces postes avancés serait affecté d'un accident caractéristique particulier, de façon à les distinguer des signaux émis par les phares normaux. Même avec une puissance intrinsèque, lumineuse et sonore, beaucoup plus faible que celle des appareils des phares, en transportant ainsi, en temps de brume, les foyers d'émission eux-mêmes des signaux, on augmente, dans des proportions énormes, leur effet utile. En utilisant la puissance motrice et électrique des phares actuels, au service des signaux avancés, en temps de brume, on pourrait, à peu de frais, créer de nouveaux moyens de secours plus efficaces et plus nombreux, la puissance de pénétration des plus puissants feux-éclairs actuels restant encore extrêmement faible, lorsque la brume est très épaisse.

SAUVETAGE

Flotteurs électromoteurs de secours

Une des circonstances les plus angoissantes des sinistres de mer est celle qui se présente, si fréquemment cependant, d'un navire ou d'une barque, sombrant tout près et souvent à l'entrée

du port, lorsque la brume a trompé la vigilance du marin ou lorsque la mer est démontée au point de ne pouvoir lancer, au secours des naufragés, les embarcations de sauvetage, sans vouer à une mort certaine et inutile leur héroïque équipage. Or, dans tous ces cas, le même poste porte-signaux avancés, que nous venons de décrire, pourrait, non monté, c'est-à-dire sans risquer aucune vie, porter des secours effectifs aux naufragés, sous des formes variées — une amarre, un va-et-vient, un radeau, sans oublier un fil téléphonique apportant le secours puissant de la parole qui dit « courage ! » et permet de combiner utilement les efforts des victimes avec ceux de leurs sauveteurs.

Mais, comment diriger le poste électromoteur de secours, malgré les éléments déchaînés, et lorsque, souvent, la seule route praticable est limitée à une étroite passe, à un chenal aux formes tourmentées ? Ce résultat, qui peut paraître problématique, est cependant et certainement réalisable. Pour s'en convaincre, il suffit de se reporter au mode de fonctionnement du télautographe d'Elisha Gray. La même combinaison cinématique de mouvements, exécutée par des moyens analogues, mais à une échelle monstre, produira les mêmes résultats. De même que le télégraphe de Gray permet de dessiner une figure quelconque, électro-mécaniquement et à distance, de même on peut aussi facilement et aussi sûrement diriger à distance une embarcation ou un radeau électromoteur, tel que le Protecteur-Naval, et lui faire suivre les méandres du chenal le plus tourmenté, là où le pilote le plus audacieux et le plus habile serait impuissant à manœuvrer.

Au point de vue des applications pratiques, il est intéressant de remarquer que la solution du problème des sauvetages peut et doit être obtenue avec le même matériel et les mêmes dispositifs de manœuvre que pour la question des signaux avancés.

On conçoit maintenant, en effet, que le bateau-signal ou porte-signaux avancés, et le poste électromoteur de secours, peuvent et doivent être constitués par le même matériel, muni suivant les circonstances, de quelques appareils spéciaux. Dans

le cas de sauvetage, le moteur du poste de secours étant mis en action permanente, ce dernier prendra la mer en tirant sur les deux amarres BC et BD. Seulement, au lieu de laisser se former un triangle défini unique, comme pour les signaux avancés, la longueur des amarres BC et BD sera à chaque instant déterminée à volonté par le pilote d'un nouveau genre, analogue au motorman d'un tramway électrique, lequel dirigera, par un simple contrôleur ou distributeur de courants électriques, la route parcourue par le poste électromoteur de secours. Placé en un point qui lui permette de dominer du regard toute la scène du sauvetage (au sommet d'un phare ou sur un observatoire convenablement disposé), le pilote de sauvetage commandera électriquement, à distance, le mouvement des treuils situés en C et D, déformant à volonté le triangle CBD pour porter son sommet B′, à chaque instant, en un point quelconque de l'espace. Ce point B′ étant le poste de secours, il lui fera donc suivre à volonté la série des points successifs constituant la route, si compliquée qu'elle puisse être, qu'il sera nécessaire de faire suivre à la barque ou au radeau de sauvetage insubmersibles.

Après avoir atteint les naufragés et leur avoir ainsi porté le moyen de salut, il pourra, par une série de manœuvres inverses des premières, les ramener au port sans avoir risqué de faire aucune nouvelle victime et avec beaucoup plus de chance de succès qu'aujourd'hui.

En résumé, le Protecteur-Naval F. V. Maquaire présente un certain nombre de solutions intéressantes concernant les questions si complexes et si difficiles de la prévention contre les dangers de mer. Il serait utile que ces solutions soient expérimentées.

FIN DU TOME DEUXIÈME

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE I

IMMERSION ET STABILITÉ

CHAPITRE II

IMMERSION ET STABILITÉ (FLOTTABILITÉ POSITIVE)

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

ORIENTATION

CHAPITRE V

DIRECTION

CHAPITRE VI

SÉCURITÉ

CHAPITRE VII

HABITABILITÉ

CHAPITRE VIII

FORME

CHAPITRE IX

FORCE MOTRICE ET PROPULSION

CHAPITRE X

APPAREILS DE CHANGEMENT DE MARCHE ET HÉLICES RÉVERSIBLES

CHAPITRE XI

ARMEMENT

CHAPITRE XII

APPAREILS DIVERS

Tours, imp Deslis Frères, 6, rue Gambetta, 6.



